

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
Direktor: Prof. Dr. H. G. Sergl

Zahngrößenrelationen von oberen und unteren Zähnen und ihre Bestimmung nach der Methode "BOLTON"

Untersuchungen über die Zuverlässigkeit dieser Methode

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin

der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz

dem Fachbereich Medizin

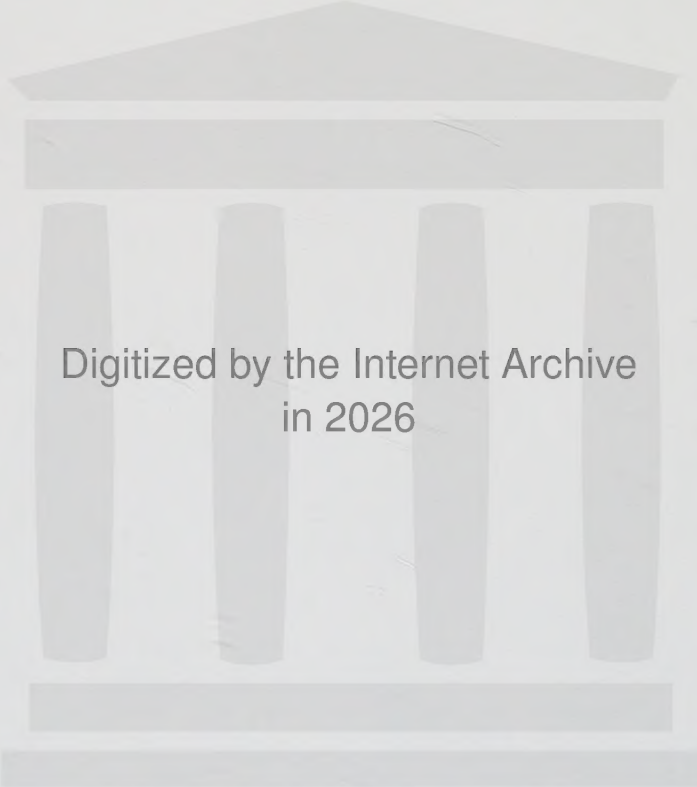
vorgelegt von

Wolfgang Ernst

aus Neumarkt i. d. Opf.

Mainz

1981



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554412_0005

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
Direktor: Prof. Dr. H. G. Sergl

Zahngrößenrelationen von oberen und unteren Zähnen und ihre Bestimmung nach der Methode "BOLTON"

Untersuchungen über die Zuverlässigkeit dieser Methode

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin

der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz

dem Fachbereich Medizin

vorgelegt von

Wolfgang Ernst

aus Neumarkt i. d. Opf.

Mainz

1981



Dekan: Professor Dr. med. K. -H. Bäßler
1. Gutachter: Professor Dr. med. dent. H. G. Sergl
2. Gutachter: Professor Dr. med. dent. F. Lampert
Tag der mündlichen Prüfung: 29. Juni 1981

Gewidmet in Dankbarkeit
meiner Mutter

INHALTSANGABE

1	Einleitung	1
2	Vorstellen der Methode "BOLTON"	4
2.1	Entwicklung	4
2.2	Praktisches Vorgehen	10
2.3	Indikation und Therapievorschläge	13
2.4	Kritik der Methode	18
3	Fehlermöglichkeiten und ihre Ursachen	22
3.1	Die Übertragbarkeit der Modellanalyse auf das natürliche Gebiß	22
3.2	Fehlermöglichkeiten und ihre Ursachen bei der Modellanalyse nach BOLTON	24
3.2.1	Fehlerarten	25
3.2.2	Fehlermöglichkeiten und ihre Ursachen	25
4	Eigene Untersuchungen	29
4.1	Intention und Aufgabenstellung der Arbeit	29
4.2	Untersuchungsmaterial	32
4.3	Meßmethodik	33
4.3.2	Meßpunkte	33
4.3.3	Berechnung der Summen, der Quotienten, der Idealwerte und der Überschüsse	33
4.3.4	Meßwiederholung	35
4.3.4.1	Zweck der Meßwiederholung	35
4.3.4.2	Störquellen bei der Meßwiederholung	36
4.3.4.3	Bedingungen und Ablauf der Meßwiederholungen	36
4.4	Auswertungsmethoden - Statistische Analyse	38
4.4.1	Datenbeschreibung	40
4.4.1.1	Mittelwert	40
4.4.1.2	Standardabweichung	41
4.4.1.3	Variationskoeffizient	41

4.4.2	Korrelationsanalyse	41
4.4.2.1	Korrelationskoeffizient	42
4.4.2.2	Regressionsgeraden	43
4.4.2.3	Differenzen zwischen den ermittelten Überschüssen innerhalb der drei Meßreihen	45
4.5	Ergebnisse, Diskussion und Anspruch	46
5	Zusammenfassung	67
6	Literaturverzeichnis	69
7	Formeln und Tabellen	74

EINLEITUNG

Der Bauplan des menschlichen Körpers läßt ohne Zweifel ein gewisses Maß an Symmetrie erkennen. Davon ausgehende Überlegungen führten schon vor geraumer Zeit auf dem Gebiet der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde zu Vergleichsuntersuchungen von Zahngrößen.

So untersuchte z. B. BALLARD (1944) die Rechts-Links-Asymmetrie von Einzelzähnen, indem er bei 500 Kiefermodellen die mesiodistalen Durchmesser der Zähne einer Seite mit den entsprechenden der gegenüberliegenden Seite verglich. Als Ergebnis zeigte sich, daß in etwa 90 % der Fälle ein Rechts-Links-Unterschied von 0,25 mm oder mehr gefunden wurde, worauf BALLARD die Forderung nach ausgleichendem "stripping", also approximalem Beschleifen der Zähne, erhob.

Entsprechende Überlegungen bezüglich der Symmetrie lassen sich natürlich auch zwischen Ober- und Unterkieferzähnen anstellen.

So verglich YOUNG (1923) zwei Modelle mit normalen okklusalen Verhältnissen aber stark unterschiedlichem Überbiß. Die Messung der Zahngrößen bis einschließlich der zweiten Prämolaren ergab einen beträchtlichen Unterschied hinsichtlich der Differenzen der Breitensummen aus Oberkiefer- und Unterkieferzähnen.

LUNDSTROM gibt einen Überblick über die Arbeiten europäischer Autoren: Die Gebrüder LUX (1930), RITTER (1933), SEIPEL (1946) und SELMER - OLSEN (1949) betrachteten die Zahngrößen von oberen und unteren Zähnen und ihre Zusammenhänge. Dabei wurden folgende Ergebnisse offenkundig: Für gute okklusale Verhältnisse sollte eine relativ enge Beziehung zwischen den Summen der oberen und der unteren Zähne bestehen.

TÖNN (1937) bot ein ganzes System von Quotienten an, die jeweils das Verhältnis der Incisivi, Canini, Prämolaren und ersten Molaren sowie der gesamten Zahnbögen einschließlich der ersten Molaren charakterisieren sollten.

KÖRBITZ (1940) schließlich analysierte 100 Fälle mit Normalokklusion mit dem Ergebnis, daß die Differenz zwischen der Summe aus oberen Schneide- und Eckzähnen und der Summe aus unteren Schneide- und Eckzähnen sowie die Hälfte der Breite der ersten Prämolaren zwischen 0 und 4 mm betragen sollte und dieser ein Überbiß von 0 bis 3,5 mm entspräche.

NEFF (1949) dürfte mit seiner Studie als unmittelbarer Vorläufer BOLTONS gelten: An 200 Modellen vermaß er die mesiodistalen Durchmesser der oberen und unteren Frontzähne und gewann aus den jeweiligen Summen für Oberkiefer bzw. Unterkiefer Quotienten, indem er den Wert des Oberkiefers durch den entsprechenden des Unterkiefers teilte. Er ermittelte eine Streubreite von 1,17 - 1,41, wobei er keinen Mittelwert angab. NEFF versuchte dann auch, eine Beziehung zwischen diesen Quotienten und dem Ausmaß des frontalen Überbisses herzustellen. Als Überbiß definierte er den prozentualen Anteil der Kronenhöhen der unteren mittleren Schneidezähne, der von den oberen mittleren Schneidezähnen bedeckt wird. Bei einem 20prozentigen Überbiß, der als ideal betrachtet wurde, fand er einen entsprechenden Quotienten von 1,20 - 1,22.

Eine ähnliche Methode, um den Überbiß und die Schneidezahnstufe vorherzusagen, stammt von STEADMAN (1949): Von der Summe der oberen Schneidezähne und der Hälfte der Eckzahnbreiten subtrahierte er die Hälfte des labiolingualen Durchmessers eines oberen mittleren Schneidezahns und verglich das Ergebnis mit der Summe der unteren Schneide- und Eckzähne plus der Hälfte des labiolingualen Durchmessers eines seitlichen unteren Schneidezahns, gemessen im incisalen Drittel. Gleiche Werte und eine Klasse I-Verzahnung der Eckzähne charakterisierten für ihn ein gutes Verhältnis zwischen Schneidezahnstufe und Überbiß.

Schließlich entwickelte W. A. BOLTON (1952, 1958, 1962) eine Methode, um ausgehend von verschiedenen Zahngrößenrelationen von oberen und unteren Zähnen eine Vorhersage über die intermaxilläre Harmonie zu machen, die nach Abschluß einer kieferorthopädischen Behandlung in den zahntragenden Abschnitten zu erwarten ist.

Die Genauigkeit bei der Erhebung dieser Analyse sollte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung festgestellt werden.

2 VORSTELLEN DER METHODE "BOLTON"

2.1 Entwicklung

Wayne A. BOLTON (1952, 1958, 1962) hatte als Ausgangsmaterial für seine Analyse 55 Modelle mit ausgezeichneten okklusalen Verhältnissen, davon 44 von bereits kieferorthopädisch vorbehandelten Fällen. Diese Modelle waren mit äußerster Sorgfalt ausgewählt - sie stammten allein von zehn verschiedenen Privatpraxen sowie vom Department of Orthodontics, School of Dentistry, University of Washington. Als Meßinstrument benutzte BOLTON einen Stechzirkel, mit dem er die gemessenen Längen auf ein Lineal übertrug, dessen Skalierung bis auf einen Viertel Millimeter genau ablesbar war.

Im einzelnen machte er folgende Messungen:

- 2.1.1 Die mesiodistalen Durchmesser der zwölf Oberkieferzähne, nämlich vom rechten ersten Molaren bis zum linken ersten Molaren einschließlich, wurden addiert und mit der Summe verglichen, die durch den selben Vorgang bei den entsprechenden Unterkieferzähnen zustandekam. Den Quotienten, der sich aus den beiden Summen wie folgt bilden läßt,

$$\frac{\text{Summe der 12 UK-Zähne}}{\text{Summe der 12 OK-Zähne}} \times 100$$

nannte er "overall ratio", im folgenden als "Gesamtquotient" bezeichnet.

- 2.1.2 Dieselbe Methode wandte er auch für die Frontzähne alleine an (vom rechten Eckzahn bis zum linken Eckzahn), und erhielt dadurch als neuen Quotienten

$$\frac{\text{Summe der 6 UK-Zähne}}{\text{Summe der 6 OK-Zähne}} \times 100,$$

die sogenannte "anterior ratio", im folgenden als "frontaler Quotient" bezeichnet.

- 2.1.3 Die buccalen Abschnitte des Zahnbogens unterteilte er in Einheiten mit der Absicht, die Verzahnung zu analysieren und möglicherweise Zahngrößendiskrepanzen zu lokalisieren. Dem Ergebnis dieser Bemühungen fehlte es jedoch an klinischer Signifikanz, weshalb er dies auch in seinen weiteren Ausführungen nicht weiter berücksichtigte.
- 2.1.4 Das Ausmaß des vertikalen Überbisses wurde in einer Prozentzahl ausgedrückt, und zwar setzte BOLTON den Anteil der Kronenhöhe des unteren mittleren Schneidezahns, der vom oberen mittleren bedeckt wird, ins Verhältnis zu seiner Gesamtlänge. Er erhielt dadurch einen Wert, der unabhängig von den jeweiligen Zahngrößen ein genaues Bild von dem Ausmaß des (prozentualen) Überbisses verschafft.
- 2.1.5 Die Schneidezahnstufe wurde als Abstand der Labialfläche des unteren mittleren Schneidezahns vom Übergang der Incisal- zur Palatinalfläche des oberen mittleren Schneidezahns definiert. Meßinstrument war ein fein graduiertes Lineal. Die Messungen wurden jeweils in Höhe der Incisalkante des unteren mittleren Schneidezahns vorgenommen.
- 2.1.6 Die Winkel der oberen und unteren mittleren Schneidezähne zur Okklusalebene wurden in der Weise untersucht, daß man die Winkel maß, die einerseits von den Labialflächen der Schneidezähne und andererseits von den Basen der Modelle, die parallel zur Okklusalebene getrimmt waren, gebildet wurden.
- 2.1.7 Die Länge der Incisivi bzw. ihre gingivoincissale Höhe wurde festge-

halten, und zwar sowohl die der mittleren Oberkieferschneidezähne als auch die der mittleren Unterkieferschneidezähne.

- 2.1.8 Die Höhe der Höcker der Seitenzähne wurde mittels eines speziellen Instruments gemessen, das es ermöglichte, den genauen Abstand zwischen der Höckerspitze und der Tiefe der Zentralfissur in der Mitte des mesiodistalen Durchmessers eines Zahnes zu ermitteln.

Die statistische Auswertung der ermittelten Daten ergab folgendes:

Der Gesamtquotient für die Zahngrößenrelation zwischen Oberkiefer und Unterkiefer, der für jedes Modell erhoben wurde, lag bei den hier vorgestellten idealen Gebissen zwischen 87,5 und 94,8. Der Mittelwert der Fälle betrug 91,3 bei einer Standardabweichung von 1,91, einem Variationskoeffizienten von 2,09 % und einer Standardabweichung des Mittelwertes von 0,26.

Auf ähnliche Weise wurden die Werte für den frontalen Quotienten ermittelt:

Streubreite ($x_{\max} - x_{\min}$)	80,4 - 74,5
Mittelwert	77,2
Standardabweichung	1,65
Variationskoeffizient	2,14 %
Standardabweichung des Mittelwerts	0,22

Zum Vergleich mit den von NEFF (1949) gefundenen Werten muß man die reziproken Quotienten heranziehen, also

Summe der 6 OK-Zähne
Summe der 6 UK-Zähne

Rechnet man die BOLTON'schen Werte auf diese Weise um, erhält man eine Streubreite von 1,24 - 1,34 und einen Mittelwert von 1,29. Diese Werte stimmen also relativ gut mit den von NEFF gefundenen überein, nämlich einer Streubreite von 1,17 - 1,41 und einem von NEFF als ideal angesehenen Wert von 1,20 - 1,22.

Als Korrelationskoeffizient zwischen dem Gesamtquotienten und dem frontalen Quotienten wurde ein Wert von + 0,5 ermittelt, der zwar noch statistisch signifikant von 0 verschieden, aber nicht sonderlich hoch ist.

Die Auswertung der gemessenen Werte für den prozentualen vertikalen Überbiß ergab folgendes:

Streubreite	53,9 % - 11,8 %
Mittelwert	31,3 %
Standardabweichung	10,2
Variationskoeffizient	32,6
Standardabweichung des Mittelwerts	1,37

Es wurde nun der Versuch unternommen, den vertikalen Überbiß mit drei Größen zu vergleichen:

- 2.2.1 Um zu sehen, ob der Überbiß von Zahngrößenrelationen abhängig ist, wurde der Korrelationskoeffizient r zwischen dem frontalen Quotienten und dem prozentualen Wert des Überbisses berechnet;
- für behandelte Gebisse betrug $r = + 0,053$,
für unbehandelte Gebisse $r = - 0,094$.
- 2.2.2 Da BOLTON zwischen der Länge der oberen und unteren Schneidezähne einen Korrelationskoeffizienten von + 0,76 ermittelte, der als ziemlich hoch anzusehen ist, benutzte er zur Feststellung eines Zusammenhangs zwischen Überbiß und Zahnlänge nur die Werte der unteren Schneidezähne und erhielt so einen Korrelationskoeffizienten von + 0,39.

2.2.3 Da die Höhe der Höcker unterschiedlich ist, wurde ein Mittelwert gebildet und daraufhin der Korrelationskoeffizient zwischen diesem Mittelwert und dem prozentualen Überbiß errechnet.

Das Ergebnis lautet:

für behandelte Gebisse $r = + 0,29$

für unbehandelte Gebisse $r = + 0,28$

Als Mittelwert für die Neigung der Schneidezähne zueinander ergab sich ein Betrag von 177 Grad.

Weiterhin wurden die für kieferorthopädisch indizierte Extraktionen besonders wichtigen Prämolaren näher betrachtet und die Zahngrößen miteinander korreliert:

		Mittelwert	Korrelations- koeffizient
1.	OK 4	7,04	
	UK 4	7,15	0,96
2.	OK 5	6,84	
	UK 5	7,27	0,50
3.	OK 4	7,04	
	UK 5	7,27	0,57
4.	OK 5	6,84	
	UK 4	7,15	0,61

Der Korrelationskoeffizient zwischen der Summe der mesiodistalen Durchmesser der vier unteren Schneidezähne und der Summe aus Eckzahn, erstem und zweitem Prämolare, der von BALLARD und WYLIE mit + 0,64 angegeben worden war, lag in der Untersuchung von BOLTON bei + 0,65.

In der Diskussion über diese Ergebnisse stellt BOLTON fest, daß für den Gesamtquotienten die Standardabweichung von 1,91 bei einem Mittelwert von 91,3 relativ klein ist, was auch in dem Variationskoeffizienten

von 2,09 % zum Ausdruck kommt.

Das gleiche läßt sich auch für die Standardabweichung 1,65 des frontalen Quotienten ($77,2 \pm 0,22$) behaupten, was durch einen Variationskoeffizienten von 2,14 % bestätigt wird.

Das Ausmaß des vertikalen Überbisses war, wie die niedrigen Korrelationskoeffizienten zeigten, weder von der Höhe des frontalen Quotienten noch von der Länge der Schneidezähne oder der Höckerhöhe abhängig. BOLTON vermutet, daß als bestimmender Faktor für das Ausmaß des vertikalen Überbisses der Interincisalwinkel anzusehen ist. Es konnte jedoch keine befriedigende Methode ausgearbeitet werden, um diesen Winkel der Okklusionsebene zuzuordnen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß bereits LUNDSTROM (1954) die Auswirkung verschiedener Zahnbreitenverhältnisse auf die sagittale Schneidezahnstufe, den vertikalen Überbiß, den Grad des Engstandes und die Okklusion im Molarenbereich untersuchte. Dabei zeigte sich, daß unterschiedliche Verhältnisse der summierten mesiodistalen Durchmesser von oberen und unteren Zähnen kaum Auswirkung auf die sagittale und vertikale Schneidezahnstufe und die Molarenokklusion haben, sondern eher zu mehr oder weniger starkem Engstand innerhalb eines Kiefers führen.

Der Größenzusammenhang zwischen den mesiodistalen Durchmessern der Prämolaren des Ober- und Unterkiefers kann nur für den oberen ersten und unteren ersten Prämolare als groß gelten, sodaß bei der Extraktion von Prämolaren eine individuelle Bestimmung der Größen dieser Zähne nötig ist.

2.2 Praktisches Vorgehen

Mit Hilfe eines Meßinstrumentes bestimmt man den jeweils größten mesiodistalen Durchmesser eines Zahnes. Es ist ratsam, bei einem Sechsjahrmolar des Unterkiefers zu beginnen und der Reihe nach den gesamten frontalen Zahnbogen bis zum gegenüberliegenden Sechsjahrmolar meßtechnisch zu erfassen.

BOLTON empfiehlt, die jeweils mit einem Stechzirkel gemessenen mesiodistalen Durchmesser auf einer geraden Linie, ausgehend von einer Mittenmarkierung, nacheinander abzutragen. Die Summe des Zahnbogens kann dann mit Hilfe eines Lineals bestimmt werden.

Das gleiche Verfahren wird anschließend auf den Oberkiefer angewandt.

Nun wird über die Formel I der Gesamtquotient in Prozentzahlen ermittelt.

Formel I

$$\frac{\sum \text{UK} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 6 - 1 & 1 - 6 \\ \hline \end{array} \quad \text{mm}}{\sum \text{OK} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 6 - 1 & 1 - 6 \\ \hline \end{array} \quad \text{mm}} \times 100 = \dots \%$$

Als Ergebnis kommen drei Möglichkeiten in Frage, nach denen sich das weitere Vorgehen richtet:

- 2.2.1 Der Gesamtquotient beträgt exakt 91,3. Er ist also genau so groß wie der von BOLTON als Mittelwert bei Gebissen mit idealer Okklusion gefundene. Das bedeutet, daß die Zähne des Ober- und Unterkiefers in einer harmonischen Größenrelation zueinander stehen.
- 2.2.2 Der Gesamtquotient ist größer als 91,3. Die Ursache der Diskrepanz wird dann einem Überschuß an Unterkiefer-Zahnmaterial zugeschrieben, was sich klinisch in Engstand, Zahndrehungen, Kippungen im Unterkiefer oder Lücken im Oberkiefer äußern muß. Um das Ausmaß des Überschusses zu bestimmen, muß festgestellt werden, welche Breitensumme im Unter-

kiefer gegeben sein müßte, damit sie harmonisch zu der des Oberkiefers paßt. BOLTON bedient sich dazu einer Tabelle (Tab. I), in der jeweils die ideal zueinander passenden Größen der summierten Ober- und Unterkieferzahnbreiten gegenübergestellt sind, angefangen von 85 mm für den OK bzw. 77,6 mm für den UK bis zu 110 mm als OK-Wert bzw. 100,4 mm als UK-Wert.

Tabelle I

Einander entsprechende summierte Zahngrößen von Ober- und Unterkiefer einschließlich der ersten Molaren, die eine harmonische Okklusion erwarten lassen.

OK	UK	OK	UK	OK	UK
85	77,6	94	85,8	103	94,0
86	78,5	95	86,7	104	95,0
87	79,4	96	87,6	105	95,9
88	80,3	97	88,6	106	96,8
89	81,3	98	89,5	107	97,7
90	82,2	99	90,4	108	98,6
91	83,1	100	91,3	109	99,5
92	84,0	101	92,2	110	100,4
93	84,9	102	93,1		

Die Differenz zwischen der gemessenen und der Soll-Unterkiefersumme ist dann der zu ermittelnde Überschuß an Unterkiefer-Zahnmaterial, der nach Formel II bestimmt wird.

Formel II (für $x > 91,3$)

$$\sum_{UK} \frac{6-1}{1-6} - \sum_{UK_{korr.}} = \text{UK-Überschuß}$$

2.2.3 Der Gesamtquotient ist kleiner als 91,3. Die Ursache der Diskrepanz liegt, so wird unterstellt, in einem Überschuß an Oberkiefer-Zahnmaterial. Im Unterkiefer läßt sich dies meist schon an Lücken, im Oberkiefer an Engstand, Torsionen, Kippungen etc. erkennen. Selbstverständlich kommen auch Kombinationen dieser Symptome vor. Mit Hilfe der Tabelle I läßt sich einem gemessenen Unterkieferwert wieder der korrekte Oberkieferwert zuordnen und nach Formel III das überschüssige Oberkiefermaterial errechnen.

Formel III (für $x < 91,3$)

$$\frac{\sum \text{OK} \quad \begin{array}{c|c} 6-1 & 1-6 \end{array}}{\quad} = \frac{\sum \text{OK}_{\text{korrr.}}}{\text{OK-Überschuß}}$$

Das gleiche Verfahren läßt sich mit Hilfe der Tabelle II und den Formeln IV - VI für die Bestimmung von überschüssigem Frontzahnmaterial durchführen.

Tabelle II

Einander entsprechende summierte Zahngrößen von Ober- und Unterkiefer einschließlich der Eckzähne, die eine harmonische Okklusion erwarten lassen.

OK	UK	OK	UK	OK	UK
40,0	30,9	45,5	35,1	50,5	39,0
40,5	31,3	46,0	35,5	51,0	39,4
41,0	31,7	46,5	35,9	51,5	39,8
41,5	32,0	47,0	36,3	52,0	40,1
42,0	32,4	47,5	36,7	52,5	40,5
42,5	32,8	48,0	37,1	53,0	40,9
43,0	33,2	48,5	37,4	53,5	41,3
43,5	33,6	49,0	37,8	54,0	41,7
44,0	34,0	49,5	38,2	54,5	42,1
44,5	34,4	50,0	38,6	55,0	42,5
45,0	34,7				

Formel IV

$$\frac{\sum_{UK} \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \text{ mm}}{\sum_{OK} \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \text{ mm}} \times 100 = \dots \%$$

Formel V (für $x > 77,2$)

$$\overline{\sum_{UK} \overline{3-1} \mid \overline{1-3}} - \sum_{UK_{korrr.}} = \overline{UK\text{-Überschuß}}$$

Formel VI (für $x < 77,2$)

$$\overline{\sum_{OK} \overline{3-1} \mid \overline{1-3}} - \sum_{OK_{korrr.}} = \overline{OK\text{-Überschuß}}$$

Eine harmonische Frontzahn-Beziehung besteht nach BOLTON, wenn das Verhältnis der summierten Frontzahnbreiten des Unterkiefers und Oberkiefers, jeweils einschließlich der Eckzähne, 77,2 % beträgt. Allerdings schränkt er diese Aussage dahingehend ein, daß das Verhältnis auch durch

- einen anormalen Interincisalwinkel und
- eine übermäßige labiolinguale Dicke der Incisalkanten gestört wird.

2.3 Indikation und Therapievorschläge

BOLTON hält die Anwendung seiner Methode für notwendig, weil er bei einer Untersuchung feststellte, da von 100 Patienten aus seiner Praxis bei 29 Zahngroendiskrepanzen gegeben waren, die auerhalb eines Bereiches von $\pm$ einer Standardabweichung um den Mittelwert der Idealfälle lagen.

In einer nicht veröffentlichten Studie, die RICHARDSON 1959 an der University of Washington durchführte, wurden 205 Kiefenmodellpaare vermessen, von denen 33,7 % eine Diskrepanz von mehr als einer Standardabweichung um den Mittelwert der Idealfälle aufwiesen.

HERREN (1974) kommt in seiner Untersuchung zu dem Schluß, daß ca. 30 % der untersuchten Fälle aufgrund von Zahngrößendiskrepanzen klinische Probleme aufweisen.

Zunächst seien die Werte zusammengestellt, die BOLTON als Toleranzgrenzen angibt. Gebisse, die außerhalb dieser Grenzen liegende Werte aufweisen, wären somit als pathologisch und behandlungsbedürftig anzusehen. Aber auch bei Gebissen, deren Werte innerhalb der Grenzen liegen, sollte im Zuge einer Behandlung nach Möglichkeit eine Annäherung an die optimalen Relationen versucht werden.

Der Toleranzbereich für den Gesamtquotienten erstreckt sich demnach auf $\pm$ eine Standardabweichung von 1,91 um den Mittelwert 91,3, sodaß die Grenzen mit 89,4 und 93,2 anzugeben sind.

$$89,4 \ll \text{Gesamtquotient} \ll 93,2$$

Dies entspricht bei kleinen Zähnen einer linearen Abweichung (Über- oder Unterschuß) von ca. 1,6 mm; bei durchschnittlich großen Zähnen liegt sie bei etwa 1,8 mm, bei großen Zähnen beträgt sie ca. 2,1 mm.

Für den frontalen Quotienten liegen die Toleranzgrenzen bei

$$75,5 \ll \text{frontaler Quotient} \ll 78,9.$$

Entsprechende lineare Abweichungen hierzu sind

bei kleinen Zähnen	ca. 0,7 mm
bei durchschnittlichen Zähnen	ca. 0,8 mm
bei großen Zähnen	ca. 1,0 mm.

In der Praxis haben wir es im wesentlichen mit drei verschiedenen Fällen zu tun, die nach Prüfung mit der hier vorgestellten Methode unterschiedlich zu behandeln sind:

2.3.1 Es gibt Gebisse, die sich am Anfang der Behandlung in einer schlechten Okklusion befinden und deren okklusale Relation zum Ende der Behandlung nur schwer oder überhaupt nicht voraussagbar ist. Stellt man nun eine Analyse nach BOLTON an, und die gefundenen Werte liegen nahe den hier vorgestellten Idealquotienten, so ist aufgrund dieser Tatsache eine Therapie ohne Extraktionen durchführbar, sofern diese nicht aus anderen Gründen erforderlich werden.

2.3.2 Sind Extraktionen - wie es häufig der Fall ist - aufgrund zu kleiner Kiefer nötig, so muß man sich darüber im klaren sein, daß solche Eingriffe zwangsläufig den Wert der nach BOLTON zu errechnenden Quotienten beeinflussen.

Am Beispiel der häufig gewählten Extraktion von vier Prämolaren sei dies näher ausgeführt.

Da die vorderen Gebißabschnitte für die Funktion und Ästhetik des Gebisses wichtig sind, sollte sich unsere Aufmerksamkeit zuerst auf den frontalen Quotienten richten - er wird durch diese Extraktionen nicht verändert.

Anders verhält es sich mit den okklusalen Beziehungen im Seitenzahn- bereich. Da die Zahnbögen im Ober- und Unterkiefer von unterschiedlicher Länge sind, muß sich bei der Extraktion von vier annähernd gleich großen Prämolaren zwangsläufig der Gesamtquotient ändern.

Ein hypothetischer Fall soll zur Verdeutlichung beitragen:

Hat zum Beispiel ein Patient eine summierte Oberkieferzahnbreite von 100 mm und eine summierte Unterkieferzahnbreite von 91 mm (beide bis jeweils einschließlich der ersten Molaren gemessen), so ergibt sich bei der Berechnung des Quotienten nach dem Einsetzen der Summen in die Formel I

$$\frac{\sum \text{UK} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 6 - 1 & 1 - 6 \\ \hline \end{array} \quad 91 \text{ mm}}{\sum \text{OK} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 6 - 1 & 1 - 6 \\ \hline \end{array} \quad 100 \text{ mm}} \times 100 = \frac{91}{100} \% = 91 \%$$

ein Wert, der nahezu als ideales Größenverhältnis zwischen oberen und unteren Zähnen bezeichnet werden kann. Wenn man nun für die Extraktion der Prämolaren von beiden Zahnbreitensummen je 14 mm (für zwei Prämolaren) abzieht, so ergibt dies wiederum nach Einsetzen in die Formel I

$$\frac{\sum \text{UK} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 6 - 1 & 1 - 6 \\ \hline \end{array} \quad 77 \text{ mm}}{\sum \text{OK} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline 6 - 1 & 1 - 6 \\ \hline \end{array} \quad 86 \text{ mm}} \times 100 = 89,5 \, \%. \quad \text{.....}$$

Dieser Wert genügt zwar gerade noch den Mindestanforderungen, es ist jedoch auch der Fall denkbar, daß von vorneherein schon zu wenig Unterkiefer- bzw. zu viel Oberkieferzahnmaterial vorlag. Dann fiel nach der Extraktion von vier Prämolaren der Gesamtquotient noch weitaus kleiner aus und mit großer Wahrscheinlichkeit entstünden Schwierigkeiten in der Verzahnung der buccalen Segmente. Daher ist es ratsam, nach Möglichkeit die einzelnen Prämolaren zu messen und eine individuell abgestimmte Extraktion vorzunehmen, die sich nach den beim Patienten vorliegenden Größenverhältnissen der summierten Zahnbreiten beider Kiefer richtet. Es ist aufgrund der niedrigen Korrelationskoeffizienten - wie schon eingangs erwähnt - nicht vertretbar, aus der Messung eines einzelnen Prämolaren Rückschlüsse auf die Größe der anderen zu ziehen.

2.3.3 Bei Gebissen, die ein Mißverhältnis zwischen summierten oberen und unteren Zahnbreiten aufweisen, muß der Behandelnde Maßnahmen treffen, die als Endergebnis ein Gebiß mit okklusaler Harmonie erwarten lassen. BOLTON sieht im wesentlichen drei Möglichkeiten, diese okklusale Harmonie zu erreichen:

2.3.3.1 durch "stripping", also approximales Beschleifen der Zähne im Schmelzbereich

2.3.3.2 durch großemäßige abgestimmte Extraktion von Zähnen

2.3.3.3 durch überkonturierte Füllungen, um bestimmten Zähnen oder Gebißabschnitten fehlende Substanz zu geben.

Natürlich ist es möglich, zwei oder gar alle drei dieser Maßnahmen zu kombinieren, um ein möglichst gutes Ergebnis zu erzielen.

zu 2.3.3.1:

Beim approximalen Beschleifen der Zähne ("stripping") kann je Zahn nur wenig Substanz geopfert werden, da noch eine möglichst dicke Schmelzschicht als Schutz erhalten bleiben soll. So werden zweckmäßigerweise meist mehrere Zähne eines Kieferquadranten durch approximales Beschleifen mittels diamantierter Streifen, Scheiben etc. zum Größenausgleich herangezogen. Besonders günstig ist diese Methode bei den Zähnen, die schon approximale Füllungen aufweisen, weil bei diesen die Zahnhartsubstanz nur minimal von der Maßnahme betroffen ist.

zu 2.3.3.2:

BOLTON fordert also, nicht nur bei Platzmangel im Kiefer Zahnextraktionen vorzunehmen, sondern sie auch bei Zahngrößendiskrepanzen von oberen und unteren Zähnen als Mittel zur Therapie einzusetzen. Er schlägt dabei je nach Fall folgende Kombinationen vor:

- vier Prämolaren
- obere Eckzähne, untere Prämolaren und einen unteren Schneidezahn
- einen unteren Schneidezahn
- obere seitliche Schneidezähne und die ersten Prämolaren des Unterkiefers
- seitliche Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers

Selbstverständlich sind noch andere Kombinationen möglich, die auf den individuellen Fall abgestimmt sind.

zu 2.3.3.3:

Die Versorgung mit überkonturierten Füllungen hängt von zwei Voraussetzungen ab:

- Sie darf nur als ergänzende Maßnahme bei schwierigen Fällen zur Anwendung kommen.
- Es muß genügend Platz im Zahnbogen vorhanden sein.

Auch hier erweist es sich wieder als günstig, wenn bereits approximale Füllungen in den entsprechenden Gebißabschnitten vorhanden sind, und diese somit ohne große Verletzung der Zahnhartsubstanz erneuert und überkonturiert werden können. Umgekehrt sollte sich jeder Zahnarzt

hüten, bei konservierender Behandlung normaler Gebisse Füllungen zu überkonturieren, da auf diese Weise eine Größenzunahme der mesiodistalen Durchmesser von bis zu 2 mm je Quadrant möglich ist.

Zuletzt sei noch auf eine ergänzende Maßnahme hingewiesen, die in den seltenen Fällen nötig wird, bei denen entweder ein sehr ausgeprägter labiolingualer Durchmesser der Schneidezähne existiert, oder aber die palatinalen Randwülste der oberen Schneidezähne stark hervortreten. Da diese Fälle, wie oben erwähnt, der Analyse nicht zugänglich sind, empfiehlt BOLTON hier das Abtragen der überschüssigen Partien.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Methode "BOLTON" dem gleichen Zweck dient wie das vor allem in Amerika häufig angewandte "diagnostic setup", d. h. das Aufstellen der Zähne in Wachs zu diagnostischen Zwecken. Es ist ihr Ziel, okklusale Disharmonien und deren Lokalisation festzustellen. Da das "diagnostic setup" jedoch schwierig und zeitraubend ist, ist es ein besonderer Vorzug der Methode "BOLTON", daß sie relativ leicht und schnell auch von ungeübten Personen durchgeführt werden kann.

2.4 Kritik der Methode

Ein erheblicher Vorteil der Methode ist zweifellos ihre leichte und schnelle Handhabung.

Ein Nachteil gegenüber dem "diagnostic setup" ist aber dessen bessere Anschaulichkeit aufgrund des direkt entstehenden plastischen Bildes des zu behandelnden Falles.

Zum anderen läßt die Lokalisationsmöglichkeit der Disharmonie zu wünschen übrig: Bei der BOLTON-Analyse ist nämlich lediglich die Unter-

scheidung nach Front- und Seitenzahnbereich möglich. Ein klinisch geschultes Auge ist also unerlässlich, um die exakte Lage der Störung zu erkennen und um die geeigneten therapeutischen Mittel auszuwählen.

Es muß weiter die Frage nach der Gültigkeit von Indices in der Kieferorthopädie erörtert werden. WEISE und PFOHL (1967) tragen in ihrer Arbeit kritische Äußerungen verschiedener bekannter Autoren zusammen. So wird Kritik geübt

- an subjektiven Unsicherheitsfaktoren bei der Auswahl anatomisch korrekter Gebisse, die den Sollwerten zugrunde liegen und vor allem
- an der Verwendung von Mittelwerten als Sollwerte im Sinne des Behandlungsziels.

Tatsächlich findet man bei BOLTON nirgendwo nähere Angaben, nach welchen Kriterien er seine 55 "Normgebisse" selektierte, abgesehen von dem Ausdruck "exzellente Okklusion", der als solcher aber nicht näher definiert wird.

SCHMUTH (1973) schränkt die Verwendung von Mittelwerten als Sollwerte im Sinne eines Behandlungsziels durch folgende Aussage ein: "Der Biometwert (statistische Norm) sollte nur unter dem Gesichtspunkt der naturwissenschaftlichen Norm beurteilt werden, was bedeutet, daß der Mittelwert aus einer größeren Zahl von Messungen (statistische Norm) aufgrund der ärztlichen Erfahrung im Hinblick auf die Gültigkeit für das Einzelindividuum abzuschätzen wäre." Weiter sagt er, daß Normwerte, die man an den wenigen naturgewachsenen, anatomisch korrekten Gebissen statistisch ermittelt, nicht ohne weiteres eine bindende Richtschnur für die große Masse der abwegig entwickelten Kauorgane sein können.

Für die Tatsache, daß zwar die Standardabweichung der Quotienten relativ gering, die Streubreite (max. Wert - min. Wert) für die "idealen Gebisse" jedoch erheblich ist, gibt es zwei Erklärungsmöglichkeiten:

- Entweder läßt sich auch außerhalb des Bereiches einer Standardabweichung um den Mittelwert noch eine harmonische Okklusion finden, oder
- die Auswahl der für die Studie zugrundegelegten Modelle erfolgte nicht nach strengsten Gesichtspunkten.

Die Angabe der Toleranzgrenzen (Mittelwert $\pm$ eine Standardabweichung) muß natürlich willkürlich sein, denn es finden sich bekanntlich Modelle in BOLTONS Studie, die diesen Anforderungen nicht gerecht werden. Der Bereich Mittelwert $\pm$ eine Standardabweichung umfaßt für normalverteilte Merkmale ca. 68 % aller Fälle. So ist es nicht verwunderlich, wenn BOLTON bei der Untersuchung von 100 Patienten 29 Fälle mit einer Zahngrößendiskrepanz findet, die außerhalb dieses Bereiches liegt. Daß den hier angegebenen Grenzen trotzdem eine gewisse klinische Relevanz nicht abgesprochen werden kann, geht aus der Tatsache hervor, daß andere Autoren (HERREN, WHEELER, NEFF) zu vergleichbaren Ergebnissen kommen.

Die Analyse "BOLTON" kann natürlich erst in einer relativ späten Phase der Gebißentwicklung durchgeführt werden, da für das Aufstellen der Quotienten und die Berechnung der Überschüsse eine vollständige Bezahnung mit Ausnahme der jeweils beiden letzten Molaren nötig ist.

Im Hinblick auf die therapeutischen Empfehlungen BOLTON's darf man bei kritischer Betrachtung auch nicht übersehen, daß sowohl beim approximalen Beschleifen der Zähne als auch bei der Therapie mit überkonturierten Füllungen ein Substanzverlust eintritt und somit die Kariesanfälligkeit bzw. die Instabilität des Gebisses gefördert wird.

Als weiterer Punkt sei herausgestellt: BOLTON warnt zwar davor, daß anormale Interincisalwinkel sowie übermäßige Dicken der Incisalkanten den frontalen Quotienten verändern können, er gibt aber weder für die Interincisalwinkel noch für die Incisalkanten Toleranzgrenzen an. So bleibt es dem Behandelnden selbst überlassen, dieses Problem abzuwägen und die entsprechenden Maßnahmen zu ergreifen.

Als letzter Punkt der Therapie bleibt noch die Extraktion von Zähnen zu betrachten. Allein aus Gründen der Zahngrößendiskrepanz Zähne zu extrahieren, wird man sich nur schwerlich entschließen können. Am ehesten würde noch unter gewissen Voraussetzungen die Extraktion eines einzelnen

unteren Schneidezahnes in Frage kommen. Schon eher erscheint es angezeigt, eine Zahngrößendiskrepanz bei der Auswahl der zu extrahierenden Zähne, wenn Extraktionstherapie aus anderen Gründen unumgänglich ist, unter anderen Faktoren mit zu berücksichtigen. Die Extraktion von Eckzähnen kommt dabei allerdings aus verschiedenen Gründen nicht in Betracht.

3 FEHLERMÖGLICHKEITEN UND IHRE URSACHEN

Will man eine an Hand von Modellen gefundene Analyse auf ihre Zuverlässigkeit prüfen, so sind alle Fehlermöglichkeiten zu berücksichtigen, die angefangen von der Abformung der Kiefer im Munde des Patienten bis hin zur Vermessung der Modelle auftreten können.

Im folgenden sind die bei den einzelnen Schritten auftretenden Fehler bzw. Fehlermöglichkeiten ausgeführt.

3.1 Die Übertragbarkeit der Modellanalyse auf das natürliche Gebiß

Die Erhebung der Analyse beginnt mit den Abformungen beider Kiefer des Patienten. Diese werden heute fast immer mit irreversibel-elastischen Massen vom Typ der Alginate vorgenommen.

EICHNER (1974) sagt über die Abformgenauigkeit der Alginate: "Nach der Erhärtung des Abformnegativs werden sämtliche Reliefformen des Kiefers und der Zähne gut wiedergegeben (feine Vertiefungen, die noch unter 0,1 mm liegen)."

Für das weitere Vorgehen verlangt ILG (1950):

- "1. Alginatabdrücke dürfen nicht, auch nicht für kurze Zeit, an der Luft aufbewahrt werden.
2. Alginatabdrücke werden - wie auch die neuen Herstellervorschriften besagen - nach der Herausnahme aus dem Mund in eine 'feuchte Kammer' - das ist z. B. ein Glasgefäß mit gut schließendem Deckel mit wassergetränktem Zellstoff ausgelegt - gelegt und sollen dann unverzüglich ausgegossen werden."

Als Begründung gibt der Autor die lineare Schwindung der Alginate an, die für 24 Stunden in Luft 20 % und in Wasser 1,9 % beträgt.

REHBERG (1980) weist in seinem Artikel darauf hin, daß die Volumenänderung der Alginate in Wasser bei unterschiedlichen Fabrikaten auch unterschiedlich verläuft. "Hier spielt sicher die Syneresis des Gelzustandes der Massen eine Rolle. Unter Syneresis wird eine Art der Alterung eines

eines Gels verstanden, die zu einer Schrumpfung der Masse unter Auspressen von Feuchtigkeit führt. Bei Wasserlagerung gehen übrigens auch Anteile der Masse in Lösung." REHBERG bemerkt weiter, daß "auch die Lagerung in einer feuchten Atmosphäre die Dimensionsstabilität des Alginatabdrucks nicht garantieren kann, wenn auch die Veränderungen nicht so groß wie an der Luft oder im Wasser sind." Zusammenfassend empfiehlt REHBERG, bei Abformungen, von denen eine gute Präzision erwartet wird, eine baldige Modellherstellung durchzuführen. Dies würde bedeuten, daß das Ausgießen der Abdrücke innerhalb der ersten 20 Minuten nach der Abdrucknahme am Patienten erfolgen soll.

Gips zeigt beim Abbinden eine Expansion. Diese liegt nach EICHNER (1974) je nach Gipsart zwischen 0,06 und 0,6 % linear. "Um diesen Betrag vergrößert sich das fertige Gipsmodell gegenüber der Hohlform." Übereinstimmend kamen ILG (19507 und SCHWINDLING (1951) zu dem Ergebnis, daß trotz der Abbindeexpansion des Gipses (hier: Hartgips) nach vor-schriftsmäßig sofort durchgeführtem Ausgießen der Alginatabformungen eine lineare Verkleinerung der gewonnenen Modelle gegenüber dem Original von ca. 0,7 % linear stattfindet. SCHWINDLING macht hierfür die Quellung des abgebundenen Alginats durch die Aufnahme von Gipswasser verantwortlich. Durch diese Quellung wird die Form kleiner und damit ebenfalls das Modell.

Wie wirkt sich nun dieser Faktor einer linearen Verkleinerung der Modelle von 0,7 % auf die Analyse nach BOLTON aus?

Da bei der Ermittlung der Quotienten aus Ober- und Unterkieferzahn-breiten der Faktor der Dimensionsänderung sowohl im Nenner als auch im Zähler mit eingeht, kürzt er sich bei der Ermittlung des Quotienten wieder heraus. Die Verkleinerung führt also bei der Bestimmung der Quotienten zu keinerlei Verfälschung der Ergebnisse.

Eine andere Situation ergibt sich bei der Ermittlung des überschüssigen Zahnmaterials. Überträgt man die ermittelten Überschüsse auf das natürliche Gebiß, so muß der lineare Verkleinerungsfaktor des Gipsmodells mit berücksichtigt werden.

Bei der Ermittlung der Überschüsse eines Kiefers tauchte bei den von uns vermessenen 220 Modellen als maximaler Betrag ein Wert von 5,7 mm auf, der als Therapiegrundlage anzusehen war. Wird dieser Wert mit dem Faktor 0,7 % multipliziert, so erhält man eine Abweichung bei der Übertragung der Überschüsse vom Gipsmodell auf die Mundsituation von 0,0399 mm, also rund 0,04 mm. Da dieser Betrag aber noch weit unter der praktisch erfassbaren Meßgrenze liegt (Ablesegenauigkeit der Schublehre = 0,1 mm), bleibt festzuhalten, daß auch bei der linearen Verkleinerung der Modelle gegenüber dem Original kaum meßtechnisch faßbare Fehler auftreten."

3.2 Fehlermöglichkeiten und ihre Ursachen bei der Modellanalyse nach BOLTON

Fehler bei der Modellvermessung lassen sich selten auf eine einzelne Ursache zurückführen. Weitaus häufiger handelt es sich um Fehler, die auf verschiedenen Ursachen beruhen. Diese führen zu einem "Gesamtfehler", der sich nach HARDTWIG (1968) durch ein Zusammenwirken verschiedener "Teilfehler" erklären läßt. Dabei handelt es sich keineswegs um eine einfache Addition der "Teilfehler". Eine Ausnahme bilden die sogenannten "systematischen Fehler". Bei jedem Fehler ist zum wahren Wert ein bestimmter Betrag addiert oder subtrahiert, jedoch geht beim "systematischen Fehler" die Abweichung immer in die selbe Richtung. Weitaus häufiger als "systematische Fehler" treten sogenannte "zufällige Fehler" auf, die sowohl vergrößern als auch verkleinern können, "und somit insgesamt keinen allzu großen Einfluß auf den Mittelwert der Messungen haben." Als Beispiel sei die unterschiedliche Festlegung der größten mesiodistalen Durchmesser der einzelnen Zähne durch zwei voneinander unabhängige Beobachter genannt. Die einzelnen Teilfehler lassen sich nach HARDTWIG auf eine Anzahl verschiedener Fehlerursachen zurückführen. Nach SORG (1977) kann die Ursache eines Teilfehlers bei der Modellvermessung

1. in der Person des Messenden
2. in dem zu messenden Objekt (hier Modell)
3. im Meßinstrumentarium
4. in der ungewollten Mißachtung der Meßtechnik und Meßvorschrift
5. in den unterschiedlichen Meßbedingungen wie Temperatur, Beleuchtung usw. liegen.

3.2.1 Fehlerarten

SORG (1977) bringt in seiner Arbeit eine umfassende Zusammenstellung der Fehlerarten nach HARDWIG (1968) und SQUIRES (1971). Darin unterteilt er die Fehler in

- zufällige oder unregelmäßige Fehler
- systematische oder regelmäßige Fehler
- grobe Fehler.

Die Eigenschaften der drei Fehlerarten sind hinlänglich bekannt, sodaß hier lediglich der Hinweis auf andere Autoren (SORG, HARDWIG, SQUIRES) genügen soll.

3.2.2 Fehlermöglichkeiten und ihre Ursachen

3.2.2.1 beim Abgreifen der Zahnbreiten,

3.2.2.2 der Übertragung der Distanz auf das Lineal und

3.2.2.3 dem Ablesen mit Hilfe eines Lineals

zu 3.2.2.1:

Beim Messen der Zahnbreiten treten sowohl modellbedingte Fehler als auch Fehler durch den eigentlichen Meßvorgang auf.

a) Modellbedingte Fehler

Theoretisch sind die Meßpunkte bei jedem zu messenden Zahn zwar klar definiert, sie lassen sich jedoch in der Praxis nicht immer ganz eindeutig am Modell auffinden. Ursachen hierfür sind

- die unterschiedliche vertikale Lage der Kontaktpunkte. Besonders auffällig ist dieses Phänomen nach LUNDSTROM (1954) bei den oberen Incisivi, den oberen Sechsjahrmolaren sowie den seitlichen unteren Schneidezähnen.
- die unterschiedliche transversale Lage der Kontaktpunkte, die z. B. bei den unteren zweiten Prämolaren mehr lingual liegen.

- ein Engstand, bei dem die genauen Meßpunkte entweder unzugänglich oder aber schwer zu lokalisieren sind.
- eine Drehung von Zähnen, wodurch die idealen Kontaktpunkte geschätzt werden müssen.
- eine Kippung von Zähnen, auf die das eben gesagte gleichfalls zutrifft.
- Abrasionen im Approximalbereich, wobei Kontaktpunkte zu Kontaktflächen umgewandelt werden, die nicht so eindeutig festlegbar sind.
- Abdruckungenauigkeiten im Approximalbereich; z. B. bilden sich hier durch Speichelretention häufig Gipsperlen.
- Fehler beim Ausgießen; so können z. B. kleine Luftblasen die mesiodistalen Zahndurchmesser verändern.
- kariöse Läsionen im Approximalbereich,
- über- bzw. unterextendierte Füllungen oder Kronen, die die Lage des eigentlichen Kontaktpunktes nur schätzen lassen.

b) Fehler durch den Meßvorgang

ba) Instrumentenbedingte Fehler

Instrumentenbedingte Fehler werden durch mangelnde Genauigkeit der Eichung hervorgerufen (WESTPHAL, 1966). Da die Ablesegenauigkeit bei der Schublehre (0,1 mm) erheblich größer ist als beim Stechzirkel (1,0 mm bzw. bei Schätzung 0,5 mm), sollte möglichst eine Schublehre zur Anwendung kommen. Weitere Nachteile des Stechzirkels bestehen darin, daß die abgegriffene Breite nicht unmittelbar am Gerät abzulesen ist, und daß er beim Anlegen an die Kontaktpunkte gering nachfedert. Da beim Stechzirkel ohne parallel einstellbare Branchen die Spitzen nicht parallel verlaufen, besteht beim Anlegen an das Modell die Gefahr der Vergrößerung. Andererseits erfordert das Messen mit einem Stechzirkel mit parallel einstellbaren Branchen einen unverhältnismäßig hohen Arbeitsaufwand.

bb) Einstellungsfehler

Nach SORG (1977) versteht man darunter Fehler, die beim Einstellen des Meßinstrumentes auf die Meßpunkte nach der vorgeschriebenen Meßtechnik entstehen. Die Ursache liegt also in der ungewollten Mißachtung der Meßtechnik.

Das richtige Einstellen wird begrenzt

- hauptsächlich durch die Geschicklichkeit der Hand (WESTPHAL, 1966)
- durch die begrenzte Leistungsfähigkeit des Auges.
Beide Punkte sind durch die messende Person bedingt, wobei auch die Ermüdung eine entscheidende Rolle spielt.
- durch die Meßbedingungen, wie Beleuchtung und Bequemlichkeit; so führen schlechte Beleuchtung und Unbequemlichkeit zu einer Vernachlässigung der Einstellung.

Grobe Fehler, wie Verzählen um einen oder mehrere Teilstriche bei Längenmaßstäben, oder die Annahme eines falschen Referenzpunktes, sei es durch mangelnde Sorgfalt oder Unkenntnis seiner richtigen Definition, sind natürlich auszuschließen, da sie bei der Berechnung der Quotienten und Überschüsse sofort als Fehler auffallen.

zu 3.2.2.2:

Bei der Analyse nach BOLTON werden die mit einem Meßinstrument ermittelten Werte der Reihe nach auf eine Linie übertragen, was insgesamt 24mal pro Modellpaar erfolgt. Ausgangspunkt ist eine Mittellinienmarkierung, von der aus die Werte der Reihe nach genau auf die Linie abgetragen werden müssen.

Zu den bereits bei den Einstellungsfehlern beschriebenen Fehlern kommt hier noch die Ungenauigkeit der Markierungen (verschiedene Breiten der Teilstriche bzw. Endpunkte).

zu 3.2.2.3:

Nach dem Abtragen der einzelnen Zahngrößen auf eine Gerade werden die Summen für die Front bzw. den Gesamtbereich mit Hilfe eines Lineals bestimmt.

Da es sich hier erneut um eine Übertragung von Meßgrößen handelt, ist die Genauigkeit bei diesem Ablesen bzw. die Größe der dabei auftretenden Fehler zunächst wieder abhängig von den schon oben zitierten Übertragungsfehlern.

Zunächst treten aber hier noch sogenannte "Ablesefehler" auf, worunter man nach SORG (1977) Fehler versteht, die "beim Ablesen der Meßgröße auf der Meßskala auftreten, wenn das Ende einer zu messenden Strecke nicht mit einem Teilstrich des Maßstabes zusammenfällt."

Die Größe dieser Ablesefehler ist naturgemäß abhängig von

- a) dem Grad der Unterteilung des Meßinstruments (hier Lineal)
- b) der Exaktheit der Meßmarkierungen
- c) möglichen Parallaxefehlern.

zu a: BOLTON benützte in seiner Arbeit ein Lineal, das eine Unterteilung in Viertelmillimeter aufweist.

zu b: Die Exaktheit der Meßmarkierungen hängt von der Breite der Endpunkte bzw. -striche ab und somit von dem Grad der Belastung der Zirkelspitze, die die Striche aufzeichnet.

zu c: Parallaxefehler treten auf, wenn zwischen der Meßmarkierung und der Ableseskala des Meßinstruments (hier Lineal) ein vertikaler Abstand besteht und der Messende nicht exakt senkrecht auf das Meßinstrument blickt.

4 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

4.1 Intention und Aufgabenstellung der Arbeit

Zur metrischen Erhebung der Analyse sind sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer 12 Einzelmessungen nötig, das ergibt insgesamt 24 Meßwerte pro Modellpaar. Es liegt auf der Hand, daß hierbei abhängig von verschiedenen Faktoren Meßfehler auftreten können.

Über Fehlermöglichkeiten und ihre Ursachen berichtet Kapitel 3.

Die Gesamtgröße der Fehler wirkt sich natürlich auf die Aussagekraft und den Anspruch der Methode aus. So war es meine Hauptaufgabe, das Ausmaß der Auswirkungen von Fehlern auf die Güte der Analyse zu bestimmen, und zwar bezogen auf eine heute für Kieferorthopäden und kieferorthopädisch tätige Zahnärzte praktikable Meß- und Auswertungsmethodik.

LIENERT (1969) gibt Hinweise auf die Gütekriterien eines Testes. Da sie für das Verständnis der folgenden Kapitel unerlässlich sind, seien sie hier unter Bezugnahme auf die vorliegende Arbeit nochmals aufgeführt:

"Ein guter Test soll als Hauptgütekriterien folgende drei Forderungen erfüllen:

1. er soll objektiv,
2. er soll reliabel,
3. er soll valide sein.

Daran schließen sich vier Nebengütekriterien als bedingte Forderungen:

4. er soll normiert,
5. er soll vergleichbar,
6. er soll ökonomisch,
7. er soll nützlich sein.

1. Die Objektivität eines Testes

Unter Objektivität eines Testes verstehen wir den Grad, in dem die Ergebnisse eines Testes unabhängig vom Untersucher sind. Ein Test wäre demnach vollkommen objektiv, wenn verschiedene Untersucher bei demselben Material zu gleichen Ergebnissen gelangten. Man spricht deshalb auch von "interpersoneller Übereinstimmung" der Untersucher. Als Maß für die interpersonelle Übereinstimmung oder Objektivität verschiedener Untersucher könnte der durchschnittliche Korrelationskoeffizient zwischen den durch verschiedene Untersucher an einer Stichprobe von Modellen erhobenen Testbefunden gelten. Je nachdem, in welcher Phase der Testdurchführung allfällige Nicht-Übereinstimmungen auftreten bzw. ausgelöst werden, unterscheidet man verschiedene Aspekte der Objektivität.

- a) Die sog. Durchführungsobjektivität betrifft den Grad der Unabhängigkeit der Testergebnisse durch zufällige oder systematische Verhaltensvariationen des Untersuchers während der Testdurchführung. ... Soll die Durchführungsobjektivität maximal hoch werden, dann muß die Instruktion an den Untersucher (schriftlich) so genau wie möglich festgelegt und die Untersuchungssituation so weit wie möglich standardisiert werden. ... Die Durchführungsobjektivität wäre zu bestimmen, indem eine Stichprobe von Modellen von zwei (oder mehreren) Untersuchern getestet und die aufgrund einer absolut objektiven Auswertung resultierenden Ergebnispaaire korreliert werden.
- b) Die sog. Auswertungsobjektivität betrifft die numerische oder kategoriale Auswertung der registrierten Meßergebnisse nach vorgegebenen Regeln."
In unserem Fall ist dies eindeutig durch die Formeln I - VI gegeben.
- c) "Die sog. Interpretationsobjektivität betrifft den Grad der Unabhängigkeit der Interpretation des Testergebnisses von der Person des Interpretierenden, der nicht mit dem Untersucher oder Auswerter identisch zu sein braucht."

Da es sich hier um Zahlen, also generell direkt vergleichbare Größen handelt, ist die Interpretationsobjektivität in unserem Fall voll verwirklicht.

2. Die Reliabilität eines Testes

"Unter der Reliabilität eines Testes versteht man den Grad der Genauigkeit, mit dem er ein bestimmtes Merkmal mißt, gleichgültig, ob er dieses Merkmal auch zu messen beansprucht (welche Frage ein Problem der Validität ist). Ein Test wäre demnach vollkommen reliabel, wenn die mit seiner Hilfe erzielten Ergebnisse das Merkmal genau, d. h. fehlerfrei beschreiben. Der Grad der Reliabilität wird durch einen Reliabilitätskoeffizienten bestimmt, der angibt, in welchem Maße unter gleichen Bedingungen gewonnene Meßwerte über ein und dasselbe Modell übereinstimmen, in welchem Maße also das Testergebnis reproduzierbar ist. Wie bei der Objektivität, so müssen auch bei der Reliabilität eines Testes verschiedene Aspekte unterschieden werden. Jeder dieser Aspekte schließt einen anderen operationalen Zugang zu seiner Bestimmung mit ein. Damit ist gesagt, daß die Reliabilität eines Testes nicht existiert, sondern nur verschiedene ihrer methodischen Zugänge."

Das geeignete Verfahren zur Bestimmung der Zuverlässigkeit der hier vorliegenden Meßanalyse ist die Retest-Methode: Man gibt ein und denselben Test einer Stichprobe von Modellen zweimal vor und ermittelt die Korrelation der beiden Ergebnisreihen. Die durch die Testwiederholungsmethode bestimmte Retest-Reliabilität liefert somit einen Retest-Korrelationskoeffizienten.

3. Die Validität eines Testes

"Die Validität eines Testes gibt den Grad der Genauigkeit an, mit dem dieser Test dasjenige Merkmal, das er messen soll oder zu messen vorgibt, tatsächlich mißt. Ein Test ist demnach vollkommen valide, wenn seine Ergebnisse einen unmittelbaren und fehlerfreien Rückschluß auf den Ausprägungsgrad des zu erfassenden Merkmals zulassen."

Da in unserem Fall die Merkmals- bzw. Größenerfassung anhand von Modellen erfolgte, und die daraus gewonnenen Ergebnisse die tatsächlich am Patienten vorliegenden Größen bzw. Größenverhältnisse charakterisieren sollen, ist das Problem der Validität hier in erster Linie ein Problem der Übertragbarkeit der Modellanalyse auf das natürliche Gebiß. Da auf dieses Thema bereits in einem der vorhergegangenen Kapitel eingegangen wurde, sei hier nur noch auf die entsprechenden Stellen verwiesen.

Auf die vier Nebengütekriterien wollen wir noch ganz kurz eingehen: Die Normierung des Tests ist durch exakte Meßvorschriften möglich und durch die Tatsache, daß man die individuellen Meßergebnisse in ein Bezugssystem einordnen kann. Als Endwert erhält man eine Maßzahl, wodurch nach SERGL (1969) der interindividuelle Vergleich möglich wird. Über die Ökonomie des Tests wie auch über seine Nützlichkeit wurde bereits bei der Vorstellung der Methode berichtet. Auf das entsprechende Kapitel sei hier nochmals verwiesen.

4.2 Untersuchungsmaterial

Das Untersuchungsmaterial entstammte der Modellsammlung der "Poliklinik für Kieferorthopädie" der Joh. Gutenberg Universität Mainz. Insgesamt wurden 220 Oberkiefer- und die 220 dazugehörigen Unterkiefermodelle aus Hartgips zweimal vom Untersucher und ein drittes Mal von einer weiteren Person vermessen. Es handelte sich teils um abgeschlossene, teils um unbehandelte Fälle. Voraussetzung für die Eignung zur Analyse war

- eine exakte Wiedergabe der abgeformten Gebisse durch die Modelle
- das Vorhandensein aller bleibenden Zähne im Zahnbogen bis jeweils mindestens einschließlich der Sechsjahrmolaren
- die Unversehrtheit der Zähne von kariösen Läsionen und Traumen bis zu einem gewissen Grad: so waren Modelle mit Zähnen, deren beschädigte Kronen die zweifelsfreie Bestimmung des größten mesiodistalen

Durchmessers nicht mehr zuließen, von der Erhebung der Analyse ausgeschlossen, nicht jedoch Gebisse mit gut restaurierten Zähnen.

4.3 Meßmethodik

Meß- und Auswertungsmethodik erfuhren gegenüber der von BOLTON vorgegebenen einige Änderungen, die teils zur größeren Genauigkeit, teils zur einfacheren Handhabung der Methode beitragen sollten.

4.3.1 Meßpunkte

Die Festlegung der Meßpunkte erfolgte nach einer Definition von BOLTON: Gemessen werden sollte jeweils der größte mesiodistale Durchmesser eines Zahnes in normaler Stellung. Dies erfordert unter Umständen, z. B. bei Drehung oder Kippung von Zähnen, eine gedankliche Rekonstruktion der idealen bzw. normalen Zahnstellung. Eine gesonderte Kennzeichnung der Meßpunkte mit Bleistift erfolgte nicht, da dies wieder zu Lasten der einfachen Handhabung der Methode gegangen wäre; des weiteren sollten die Meßpunkte bei jeder neuen Messung auch neu bestimmt werden, um Erinnerungs- bzw. interpersonelle Einflüsse auszuschalten.

4.3.2 Instrumentarium

Bei den Messungen verwendeten wir eine Schublehre mit Noniusskala nach Beerendonk (Ablesegenauigkeit 0,1 mm), die gegenüber dem Stechzirkel Vorteile bezüglich der Genauigkeit bringt, wie bereits in Kapitel 3.2, "Instrumentenbedingte Fehler" dargelegt wurde.

4.3.3 Berechnung der Summen, der Quotienten, der Idealwerte und der Überschüsse

Nach BOLTON sollen die Summen der Zahnbreiten für Front- bzw. Gesamtbereich durch Abtragen der einzelnen Werte auf eine Linie ausgehend von einer Mittellinienmarkierung und durch anschließendes Ablesen mit einem Lineal bestimmt werden.

Über die dabei möglichen Fehler - es handelt sich im wesentlichen um Übertragungs- und Ablesefehler - wird ausführlich im Kapitel 3.2, "Fehlermöglichkeiten und ihre Ursachen ..." berichtet.

Um diese Fehler zu umgehen, benutzten wir ein modifiziertes Verfahren zur Berechnung der benötigten Zahnbreitensummen:

Es bot sich nämlich an, die mit Hilfe der Schublehre abgegriffenen Zahnbreiten unmittelbar am Meßinstrument abzulesen und die gemessenen Werte zu notieren. Dies hat gegenüber dem von BOLTON vorgeschlagenen Verfahren auch noch den Vorteil, daß bestimmte Zahngrößen, die bei der späteren Betrachtung unter Umständen einer eingehenderen Untersuchung bedürfen, sofort verfügbar sind. Man kann sich nun die Mühe machen, die Summen für die Front und den Seitenzahnbereich sowie die Gesamtsumme getrennt zu errechnen. Wesentlich einfacher ist hier das Vorgehen mit Hilfe eines Taschenrechners, in den man praktischerweise zuerst die Werte für die Frontzähne eingibt. Dadurch erhält man die Möglichkeit, die Zwischensumme für die Front abzulesen und zu notieren, oder sie - je nach Ausführung des Geräts - in einen Speicher einzugeben. Dabei auftretende grobe Fehler - sei es durch falsche Eingabe der Daten oder durch das Vergessen einer Meßgröße - sind auch ohne große Übung durch das einfache Abschätzen der zahlenmäßigen Größenordnung leicht zu erkennen und daher eliminierbar.

Bei der Errechnung der Quotienten werden nach BOLTON die Formeln I für den Gesamtquotienten und IV für den frontalen Quotienten benützt. Diese Berechnung läßt sich bei Gebrauch eines Taschenrechners sehr leicht und schnell durchführen.

Das weitere Vorgehen richtet sich nach der Größe des ermittelten Quotienten:

Ist er größer als der angegebene Sollwert von 91,3 für den Gesamtbereich bzw. 77,2 für die Front, so bedeutet dies einen relativen Überschuß an UK-Zahnmaterial. Man muß sich also zum gemessenen OK-Wert den ideal dazu passenden UK-Wert herausuchen. Zu diesem Zweck benutzt BOLTON die Tabellen I bzw. II für die Front. Dazu ist anzumerken, daß in

Tabelle I für die Gesamtgrößen ein Skalenabstand von jeweils 1,0 mm für den Oberkiefer und in Tabelle II ein solcher von 0,5 mm vorgegeben ist. Das heißt, daß in den meisten Fällen der tatsächlich gemessene Wert in den Tabellen nicht auffindbar ist und - um den zugehörigen Unterkieferwert wenigstens einigermaßen exakt ermitteln zu können - interpoliert werden muß. Um daraus resultierende Ungenauigkeiten zu vermeiden, wird vorgeschlagen, die passenden Werte des Unterkiefers der Einfachheit halber wieder mit Hilfe des Taschenrechners zu ermitteln. Im Falle eines Überschusses im Unterkiefer (Quotient $> 91,3$ bzw. $> 77,2$) wurde dies in der vorliegenden Untersuchung durch Multiplikation des gemessenen Oberkieferwertes mit 0,913 bzw. 0,772 erreicht. Entsprechendes gilt selbstverständlich für die Fälle, bei denen ein Überschuß im Oberkiefer (Gesamtquotient $< 91,3$ bzw. frontaler Quotient $< 77,2$) vorliegt. Statt in die zugehörigen Tabellen einzugehen, kann der gemessene Unterkieferwert durch 0,913 bzw. der frontale Wert durch 0,722 dividiert werden.

Die Ermittlung der Überschüsse ist nun einfach: BOLTON gibt dazu die Formeln II und III für den Gesamtüberschuß sowie V und VI für überschüssiges Zahnmaterial im frontalen Bereich an. Diese ganzen Berechnungen wurden in einem Großteil der vorliegenden Fälle von uns durchgeführt. Es muß hervorgehoben werden, daß - selbst wenn man einen gewissen Übungsgewinn berücksichtigt - die Analyse auf dem vorgeschlagenen Weg relativ schnell, einfach und sicher durchgeführt werden kann.

4.3.4 Meßwiederholung

4.3.4.1 Zweck der Meßwiederholung

Die Meßwiederholung liefert uns entscheidende Gütekriterien über den vorliegenden Test:

Werden Messungen an den selben Modellen unter gleichen Bedingungen wiederholt und stimmen die Resultate in hohem Maß überein, so kann man das Testergebnis als reproduzierbar bezeichnen. Als Maß für die auf diese

gewonnene Reliabilität dient uns der Reliabilitätskoeffizient.

Um die Objektivität der Messung zu prüfen, müssen zwei oder mehr Personen zu vergleichbaren Ergebnissen kommen.

Da - wie schon vorher erwähnt - die Auswertungs- und Interpretationsobjektivität voll verwirklicht sind, liegt das Problem in der Instruktion des Untersuchers und in der Standardisierung der Untersuchungssituation, um eine möglichst hohe Durchführungsobjektivität zu erzielen.

4.3.4.2 Störquellen bei der Meßwiederholung

Nach LIENERT (1960) treten bei der Meßwiederholung einige Störquellen auf, die die Ergebnisse beeinflussen können. Es handelt sich dabei um

4.3.4.2.1 Erinnerungseinflüsse und um

4.3.4.2.2 Übungseinflüsse

zu 4.3.4.2.1:

"Man spricht dann von Erinnerungseinflüssen, wenn man sich bei Wiederholung der gleichen Messung nach einem zu kurzen Zeitintervall an die Meßpunkte und Ergebnisse erinnert. Man erhält dadurch eine zu hohe Reliabilität, eine sogenannte Scheinreliabilität ...

zu 4.3.4.2.2:

Man versteht unter Übungseinflüssen die Übung bzw. Konzeptbildung, wenn mehrere Messungen verschiedener Modelle hintereinander ausgeführt werden. Doch ist der Übungsfortschritt - soweit er nicht auf direkter Erinnerung beruht - nicht so bedeutsam. Wenn nämlich der Übungsgewinn bei allen Untersuchern etwa der gleiche ist, wird die Korrelation zwischen der ersten Messung und der Meßwiederholung nicht verändert werden. Die Reliabilität bleibt also gleich."

4.3.4.3 Bedingungen und Ablauf der Meßwiederholungen

Jede vom Autor durchgeführte Messung wurde zweimal wiederholt:

- einmal vom Untersucher selbst, um die Reliabilität der Methode zu bestimmen, und
- ein zweites Mal von einem Kollegen, um auch die Objektivität der Analyse mit zu erfassen.

Die Meßbedingungen dabei wurden auf bestimmte Kriterien hin überprüft, und zwar durfte

- immer nur mit dem gleichen Instrument gemessen werden. Dadurch wurden systematische Fehler ausgeschaltet, die auf das Instrument hätten zurückgeführt werden können.
- nur bei Tageslicht gemessen werden - und zwar vormittags nur von 9.00 - 12.00 und nachmittags von 14.00 - 16.00 Uhr -, um die Beleuchtungsunterschiede möglichst klein zu halten. Damit wurde zufälligen Fehlern aufgrund unterschiedlicher Beleuchtung begegnet.
- die Temperatur am Ort der Untersuchung und am Ort der Lagerung nur geringfügig um die normale Zimmertemperatur (21°C) schwanken. Die Volumenschwankung des Gipses, dessen linearer Ausdehnungskoeffizient laut WEIKART (1966) im Intervall von $12^{\circ} - 25^{\circ}\text{C}$ nur 2500×10^{-8} beträgt, wurde dadurch minimiert und die daraus entstehenden Streufehler auf ein vernachlässigbares Maß herabgesetzt.
- auf eine gewisse Bequemlichkeit bei der Durchführung der Messungen nicht verzichtet werden. Wie oben ausgeführt, könnten bei Nichtbeachtung zufällige und grobe Fehler resultieren.

Der Meßablauf bei der eigenen Nachuntersuchung war genau festgelegt: Die 30 Modelle, die an einem Tag in einer bestimmten Reihenfolge und in einem streng festgelegten Zeitraum, nämlich von 9.00 - 12.00 und von 14.00 - 16.00 Uhr, vermessen worden waren, wurden am nächsten Tag vom Autor in der gleichen Reihenfolge und zur gleichen Tageszeit noch ein zweites Mal vermessen. Damit wurde der Forderung nach gleichen Meßbedingungen bei der Bestimmung der Reliabilität in einem sehr hohen Maß Rechnung getragen.

Eine gewisse Einschränkung erfuhr dieser Meßablauf bei der Fremdmessung, denn es ist in der Praxis durchaus normal, daß ein Modell morgens oder erst in den Abendstunden vermessen werden kann. Die daraus resultierenden Schwankungen mögen zwar gering sein, jedoch fanden sie bei der Be-

stimmung der Objektivität Berücksichtigung. Hier sollten die anderen Meßbedingungen wie gute Beleuchtung, eine normale Raumtemperatur sowie relative Bequemlichkeit und vor allem ein normiertes Meßinstrument genügen. So wurde die Fremdmessung von einem Kollegen zwar in den selben Vor- und Nachmittagsstunden durchgeführt, die Modelle jedoch in einer anderen Reihenfolge als beim ersten und zweiten Mal vermessen. Somit war die Wahrscheinlichkeit groß, daß dies zu einer anderen Tageszeit geschah.

Durch die große Anzahl der Messungen an einem Tag - es handelte sich um 720 Einzelmessungen - wurden Erinnerungseinflüsse so gut wie ganz ausgeschaltet. Meßpunkte, die Anlaß zur Reminiszenz gegeben hätten, wurden ohnehin nicht markiert.

Der Übungseinfluß, der nach LIENERT (1969) ohnehin als klein gelten darf, wurde dadurch niedrig gehalten, daß die Modelle ein zweites Mal gleich am nächsten Tag vermessen wurden, und somit die Konzeptbildung, falls man davon in diesem Zusammenhang überhaupt sprechen kann, noch nicht viel weiter gediehen war als tags zuvor. Die Übung des Kollegen dürfte etwa auf dem gleichen Stand gewesen sein, da auch er zur gleichen Zeit mit der Vermessung einer ähnlichen Anzahl von Modellen für eine eigene Arbeit betraut war.

4.4 Auswertungsmethoden - Statistische Analyse

Am Schluß der Messungen lagen für jedes Modellpaar folgende Werte vor:

- die Summe der Oberkieferzahnbreiten bis jeweils einschließlich der ersten Molaren
- die Summe der Unterkieferzahnbreiten bis jeweils einschließlich der ersten Molaren
- die Summe der Oberkieferfrontzahnbreiten bis jeweils einschließlich der Eckzähne
- die Summe der Unterkieferfrontzahnbreiten bis jeweils einschließlich der Eckzähne

Die weiteren Werte wurden nach Eingabe dieser Daten auf Lochkarten vom Computer ermittelt, und zwar nach den Formeln I - VI, sodaß als weitere Werte vorlagen

- der Quotient aus summierten Unterkiefer- und Oberkieferzahnbreiten bis jeweils einschließlich der ersten Molaren multipliziert mit dem Faktor 100
- der Quotient aus summierten Unterkiefer- und Oberkieferfrontzahnbreiten bis jeweils einschließlich der Eckzähne multipliziert mit dem Faktor 100
- der Überschuß an Zahnmaterial in einem der Kiefer, gemessen jeweils bis einschließlich der ersten Molaren

Anmerkung:

Der Einfachheit halber wurden die Überschüsse, die sowohl im Ober- wie im Unterkiefer auftreten können, einheitlich nach der Formel

$$\sum UK \frac{6-1}{1-6} - 0,913 \times \sum OK \frac{6-1}{1-6}$$

berechnet. Überschüssiges Unterkiefermaterial schlägt somit als positiver Wert, überschüssiges Oberkiefermaterial als negativer Wert zu Buche.

- Der Überschuß an Zahnmaterial in einem der Kiefer, gemessen jeweils bis einschließlich der Eckzähne

Anmerkung:

Die einheitliche Berechnung der Überschüsse gilt in gleicher Weise für die Frontabschnitte. Überschüssiges Zahnmaterial in der Unterkieferfront wird unter positivem, überschüssiges Zahnmaterial in der Oberkieferfront unter negativem Vorzeichen in Erscheinung treten.

Da jedes Modell insgesamt dreimal vermessen wurde - zweimal vom Autor und ein drittes Mal von einer Fremdperson - resultierten aus den oben angegebenen Werten drei Ergebnisreihen, nämlich

1. Ergebnisreihe = 1. Messung
2. Ergebnisreihe = 2. Messung
3. Ergebnisreihe = Fremdmessung

Somit konnte zur Überprüfung der Reliabilität die erste Ergebnisreihe mit der zweiten verglichen werden und zur Ermittlung der Objektivität der Methode entweder die erste Ergebnisreihe mit der dritten oder aber die zweite mit der dritten.

Statistische Auswertungsverfahren:

Nach HASELOFF/HOFFMANN (1968) gehören zur ersten Kennzeichnung von Merkmalsverteilungen des Datenmaterials die Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen. Man nennt dies "Datenbeschreibung". In weitergehenden Untersuchungen wie der "Korrelationsanalyse" werden die Meßreihen dann auf gegenseitige zahlenmäßige Beziehungen, also auf faktische Zusammenhänge, überprüft.

4.4.1 Datenbeschreibung

Die Datenbeschreibung (Verteilungsanalyse) gibt uns Anhaltspunkte über die Beschaffenheit der Meßdaten, ihre Größendimension und den Aufbau der Meßreihe. Die hierzu am häufigsten benutzten Kenngrößen sind:

4.4.1.1 Mittelwert

Der Mittelwert errechnet sich bei einer vorgegebenen Anzahl n von Meßdaten x_i als arithmetisches Mittel $\bar{x}$ nach der Formel VII.

$$(VII) \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

4.4.1.2 Standardabweichung

Die Standardabweichung ist ein Maß für die Dispersion innerhalb der vorgegebenen Meßwerte x_i um den Mittelwert $\bar{x}$. Sie berechnet sich nach Formel VIII.

$$(VIII) \quad s_x = \sqrt{\frac{\sum (s_i - \bar{x})^2}{n}}$$

4.4.1.3 Variationskoeffizient

Da die Standardabweichung von der absoluten Größenordnung der gemessenen Merkmale abhängt und somit kein direkter Vergleich zwischen den Standardabweichungen zweier verschiedener Maßgrößen möglich ist, wird oft zusätzlich der Variationskoeffizient berechnet. Er ist nach MITTENECKER (1970) definiert als Quotient zwischen Standardabweichung s_x und arithmetischem Mittel $\bar{x}$, multipliziert mit dem Faktor 100.

$$(IX) \quad V = \frac{100 \cdot s_x}{\bar{x}}$$

Der Variationskoeffizient läßt einen Vergleich zu zwischen dem Ausmaß der Streuung im frontalen Bereich und im Gesamtbereich der vermessenen Gebisse.

Die Datenbeschreibung wurde bei jeder Meßreihe durchgeführt.

4.4.2 Korrelationsanalyse

Bei der Korrelationsanalyse wurden die Meßreihen untereinander verglichen, und zwar

die erste mit der zweiten,

die erste mit der dritten (Fremdmessung)

sowie die zweite mit der dritten Meßreihe.

Zur Beschreibung der Zusammenhänge wurden ermittelt: die Korrelationskoeffizienten, die linearen Regressionsfunktionen und die Differenzen aus den Überschüssen der drei Meßreihen.

4.4.2.1 Korrelationskoeffizient

Der Korrelationskoeffizient ist sowohl für die Bestimmung der Objektivität als auch der Reliabilität der Methode erforderlich. Da er hier aufgrund von Meßwiederholungen ermittelt wird, bezeichnen wir ihn als Retest-Korrelationskoeffizienten r_{tt} . Der Retest-Korrelationskoeffizient ist nach LIENERI (1969) ganz allgemein durch das Verhältnis der wahren Varianz zur Gesamtvarianz nach Formel X bestimmt,

$$(X) \quad r_{tt} = \frac{s_{\infty}^2}{s_x^2}$$

$s_{\infty}^2 = \text{wahre Varianz}$
 $s_x^2 = \text{Gesamtvarianz}$

wobei sich die Gesamtvarianz wiederum in die wahre und die Fehlervarianz s_e^2 aufgliedern läßt (vgl. Formel XI).

$$(XI) \quad s_x^2 = s_{\infty}^2 + s_e^2$$

Formel XI besagt nun lediglich, daß die Streuung innerhalb der Meßreihe durch eine "wahre" Streuung bzw. Varianz und eine Streuung aufgrund von Meßfehlern (Fehlervarianz) zustande kommt. Je geringer also die Streuung aufgrund von Meßfehlern ist, desto größer wird das Verhältnis von wahrer Varianz zur Gesamtvarianz und damit auch der Korrelationskoeffizient. Ganz ohne Meßfehler erreicht er ein Maximum von + 1,0. Ist die Gesamtvarianz ausschließlich durch Meßfehler bedingt, so ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von + 0.

Ein Meßverfahren, das der individuellen Diagnostik dient, sollte nach LIENERT (1969) einen Korrelationskoeffizienten von mindestens + 0,8 besitzen.

Da die "wahre Varianz" s_{∞}^2 stets unbekannt ist, wird r_{tt} direkt als Korrelationskoeffizient berechnet nach der bekannten siehe z. B.

HASELOFF/HOFFMANN (1968) Formel:

$$(XII) \quad r_{tt} = \frac{\sum [(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

x_i = Meßdaten der einen

y_i = Meßdaten der anderen Meßreihe

Je größer r_{tt} dem Betrage nach ist, desto genauer kann Y aus dem zugehörigen X-Wert durch Einsetzen in eine Geradengleichung näherungsweise berechnet werden. Zur näheren Kennzeichnung der (näherungsweise) linearen Beziehung der beiden Größen XY dient uns die Konstruktion der beiden Regressionsgeraden, über die das folgende Kapitel berichten wird.

4.4.2.2 Regressionsgeraden

Stellt man sich die Ergebnisse einer Meßreihe auf einer horizontalen X-Achse und die Ergebnisse einer zweiten Meßreihe auf einer vertikalen Y-Achse abgetragen vor, und ordnet man nun jedem X-Wert den zugehörigen, d. h. den das gleiche Merkmal beschreibenden Wert auf der Y-Achse zu, so erhält man ein graphisches Bild von der Verteilung der Meßwerte und ihrer Streuung. Je dichter die Punkte um eine Gerade beieinanderliegen, desto genauer wird die "Punktwolke" durch die Gerade beschrieben. Nun läßt sich diejenige Gerade bestimmen, von der gesagt werden kann, daß die Summe der quadratischen Abstände so klein wie bei keiner anderen Geraden ist. Sie heißt "Regressionsgerade". Achsenabschnitt a_{yx} und Steigung b_{yx} der Regressionsgeraden sind durch die folgenden Ausdrücke vgl. MITTENECKER (1970) gegeben:

(XIII)

$$b_{yx} = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i}{N}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{N}}$$

$$a_{yx} = \frac{\sum y_i - b_{yx} \sum x_i}{N} = \bar{y} - b_{yx} \cdot \bar{x}$$

Eine der beiden Variablen wird dabei zur "unabhängigen", die andere zu der davon abhängigen bzw. vorauszusagenden gemacht und nach der Formel XIV "vorhergesagt".

(XIV)

$$Y = a_{yx} + b_{yx} \cdot X$$

Vertauschung der Rollen von X und Y führt zu einer zweiten, die sogenannte Regression von X auf Y definierenden Geradengleichung:

(XV)
$$X = a_{xy} + b_{xy} \cdot Y$$

Die beiden Regressionslinien, die wir in diesem Fall erhalten, weichen umso mehr voneinander ab, je kleiner die Korrelation ist. Bei $r_{tt} = +1$ fallen sie zusammen, bei $r_{tt} = \pm 0$ bilden sie einen Winkel von 90° zueinander.

Bezogen auf unsere Meßreihen sollten im Idealfall die jeweils zugehörigen X- und Y-Werte identisch sein, da sie das selbe Merkmal beschreiben. Das heißt, die Regressionsgeraden müßten zusammenfallen bei einem Achsenabschnitt von a_{yx} bzw. a_{xy} von 0 und einer Steigung b_{yx} bzw. b_{xy} von +1. Es zeigte sich tatsächlich, daß dieser Idealfall zumindest annähernd erreicht wurde. Aus diesem Grund wurde auf die Bestimmung der Steigungen und Achsenabschnitte der jeweils zweiten zugehörigen Regressionsgeraden verzichtet.

4.4.2.3 Differenzen zwischen den ermittelten Überschüssen innerhalb der drei Meßreihen

Da die meisten der bisher angegebenen Auswertungsmethoden nur für statistisch bewanderte Personen eine große Aussagekraft besitzen, uns aber eine allgemein verständliche Form der Interpretation naheliegt, wurde den üblichen Korrelationsanalysen noch eine weitere, wie uns scheint für die Methode "BOLTON" geeignete Auswertungsmethode hinzugefügt. Und zwar wurde jedem errechneten Überschuß x_{i1} der Meßreihe 1 der entsprechende Überschuß x_{i2} der Meßreihe 2 und x_{i3} der dritten Meßreihe zugeordnet und von allen die Differenzen untereinander nach den Formeln XVI - XVIII ermittelt.

$$(XVI) \quad D_1 = x_{i1} - x_{i2}$$

$$(XVII) \quad D_2 = x_{i2} - x_{i3}$$

$$(XVIII) \quad D_3 = x_{i1} - x_{i3}$$

D_1 , D_2 und D_3 bezeichnen nach Definition die Differenzen zwischen den jeweiligen Überschüssen der Meßreihen 1 - 3.

Dieses Verfahren wurde natürlich wieder getrennt einmal für den frontalen Überschuß und einmal für den Gesamtüberschuß durchgeführt.

Das Ergebnis läßt sich in mehreren Graphiken festhalten, die uns somit ein Bild von den Resultaten dieser Überlegungen vermitteln können und zudem Möglichkeiten des direkten Vergleichs untereinander liefern.

Des weiteren beinhalten die Graphiken den Mittelwert, der aus den jeweiligen Werten der Einzeldifferenzen erhältlich ist, wenn man deren Vorzeichen außer acht läßt. Dieser "Mittelwert der absoluten Differenzen" gibt einen Anhalt über die durchschnittlich gemachten Fehler bei der Bestimmung des überschüssigen Zahnmaterials.

4.5 Ergebnisse, Diskussion und Anspruch

Ergebnisse

In den folgenden Tabellen III - VIII findet man die durch statistische Berechnungen ermittelten Mittelwerte $\bar{x}$, Standardabweichungen s_x und Variationskoeffizienten V der drei Meßreihen jeweils für die Summen aus Ober- und Unterkieferzahnbreiten, die Quotienten und die Überschüsse getrennt einmal für die Front- und einmal für die Gesamtanalyse nach BOLTON.

Tabelle III

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1. Messung	94,84	86,43	91,16	- 0,15
2. Messung	94,86	86,38	91,08	- 0,23
3. Messung	95,08	87,37	91,93	+ 0,56

= Fremdmes.

Tabelle III: Mittelwerte der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Tabelle IV

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1. Messung	46,79	36,43	77,91	+ 0,31
2. Messung	46,80	36,38	77,78	+ 0,25
3. Messung	46,75	36,60	78,35	+ 0,51

= Fremdmes.

Tabelle IV: Mittelwerte der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der Eckzähne.

Tabelle V

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1. Messung	4,50	4,06	1,96	1,84
2. Messung	4,53	4,04	1,95	1,83
3. Messung	4,76	4,07	2,10	1,96

= Fremdnes.

Tabelle V: Standardabweichungen der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Tabelle VI

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1. Messung	2,64	1,92	2,30	1,06
2. Messung	2,66	1,88	2,27	1,05
3. Messung	2,80	1,93	2,40	1,10

= Fremdnes.

Tabelle VI: Standardabweichungen der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der Eckzähne.

Tabelle VII

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1. Messung	4,74	4,70	2,15	- 1227
2. Messung	4,78	4,68	2,14	- 796
3. Messung	5,01	4,66	2,28	+ 350

= Fremdes.

Tabelle VII: Variationskoeffizienten der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Tabelle VIII

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1. Messung	5,64	5,27	2,95	+ 342
2. Messung	5,68	5,17	2,92	+ 420
3. Messung	5,99	5,27	3,06	+ 216

= Fremdes.

Tabelle VIII: Variationskoeffizienten der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der Eckzähne.

In den nachfolgenden Tabellen IX - XVI sind die Werte für die Korrelationskoeffizienten, die Achsenabschnitte und Steigungen der Regressionsgeraden aufgeführt, die über die Zusammenhänge der drei Meßreihen untereinander Auskunft geben.

Die Abbildungen I - VI geben als Histogramme ein Bild von der Differenz der Überschüsse zwischen den einzelnen Meßreihen.

Anmerkung: * bedeutet, daß hier der Platz nicht ausreichend ist zum vollständigen graphischen Ausdruck.

Die links angeführten Zahlenwerte einer jeden Zeile markieren die Obergrenzen des jeweiligen Intervalls; diese Obergrenze ist in dem Intervall zahlenmäßig mit eingeschlossen. Der Intervallabstand beträgt 1,0 mm. Zum Beispiel sind in der Zeile mit der Obergrenze + 0,5 alle Werte von - 0,5 ausschließlich bis + 0,5 einschließlich erfaßt.

Tabelle IX

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1.M. / 2.M.	+ 0,9937	+ 0,9922	+ 0,9444	+ 0,9440
1.M. / 3.M.	+ 0,9786	+ 0,9712	+ 0,8403	+ 0,8418
2.M. / 3.M.	+ 0,9781	+ 0,9726	+ 0,8417	+ 0,8438

Tabelle IX: Korrelationskoeffizienten der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Tabelle X

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1.M. / 2.M.	+ 0,9901	+ 0,9880	+ 0,9382	+ 0,9377
1.M. / 3.M.	+ 0,9764	+ 0,9610	+ 0,8226	+ 0,8252
2.M. / 3.M.	+ 0,9782	+ 0,9636	+ 0,8432	+ 0,8454

Tabelle X: Korrelationskoeffizienten der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der Eckzähne.

Tabelle XI

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1.M./ a_{xy}	+ 0,02	+ 0,81	+ 5,40	- 0,08
2.M. b_{xy}	+ 1,00	+ 0,99	+ 0,94	+ 0,94
1.M./ a_{xy}	- 3,55	+ 3,53	+ 9,89	+ 0,70
3.M. b_{xy}	+ 0,99	+ 0,97	+ 0,90	+ 0,90
2.M./ a_{xy}	- 2,63	+ 2,72	+ 9,05	+ 0,77
3.M. b_{xy}	+ 1,03	+ 0,98	+ 0,91	+ 0,90

Tabelle XI: Achsenabschnitte a_{xy} und Steigungen b_{xy} einer Regressionsgeraden der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Tabelle XII

	Summe OK	Summe UK	Quotient	Überschuß
1.M./ a_{xy}	+ 0,00	+ 1,04	+ 5,32	- 0,04
2.M. b_{xy}	+ 1,00	+ 0,97	+ 0,93	+ 0,93
1.M./ a_{xy}	- 1,91	+ 1,26	+ 5,89	+ 0,24
3.M. b_{xy}	+ 1,04	+ 0,97	+ 0,93	+ 0,86
2.M./ a_{xy}	- 1,45	+ 0,58	+ 9,13	+ 0,29
3.M. b_{xy}	+ 1,03	+ 0,99	+ 0,89	+ 0,89

Tabelle XII: Achsenabschnitte a_{xy} und Steigungen b_{xy} einer Regressionsgeraden der Summen von Ober- und Unterkiefer, der Quotienten und der Überschüsse jeweils einschließlich der Eckzähne.

Abbildung I

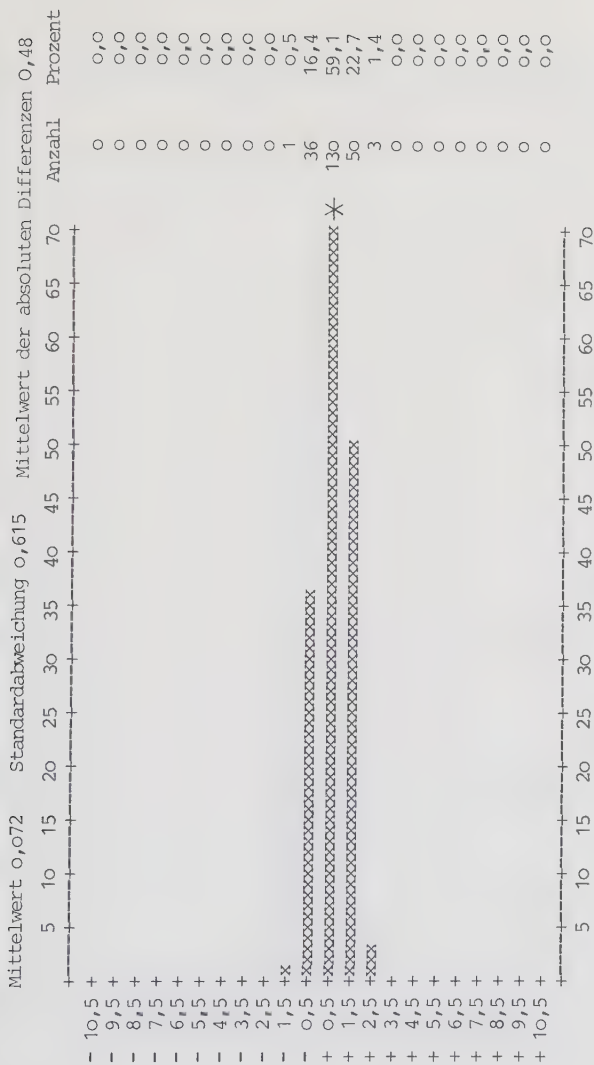


Abbildung I: Differenzen zwischen den ermittelten Überschüssen der ersten und zweiten Maßreihe jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Abbildung II

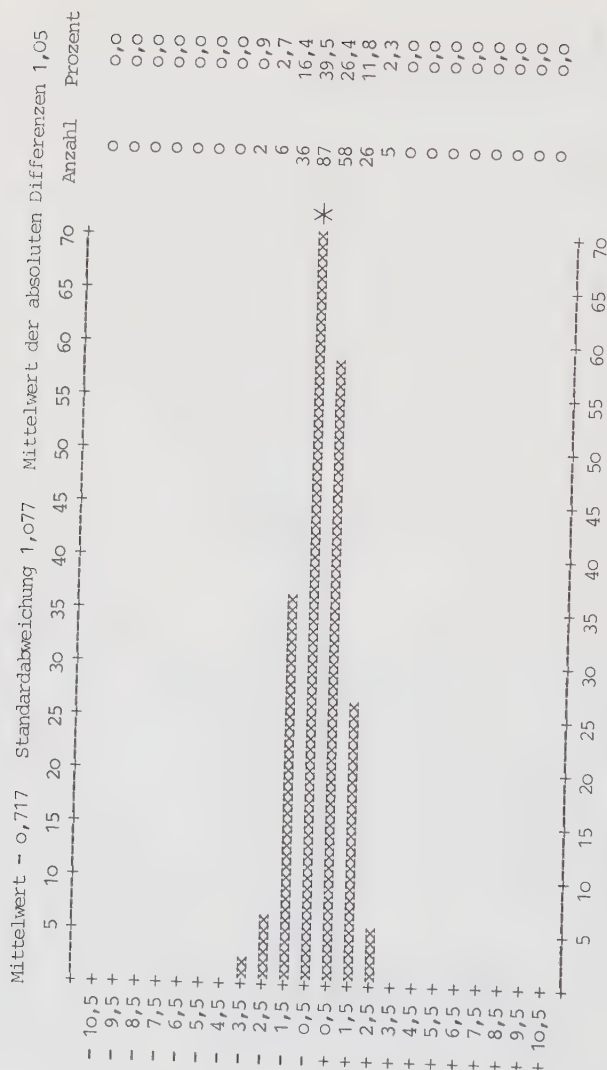


Abbildung II: Differenzen zwischen den ermittelten Überschüssen der ersten und dritten Meßreihe jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Abbildung III

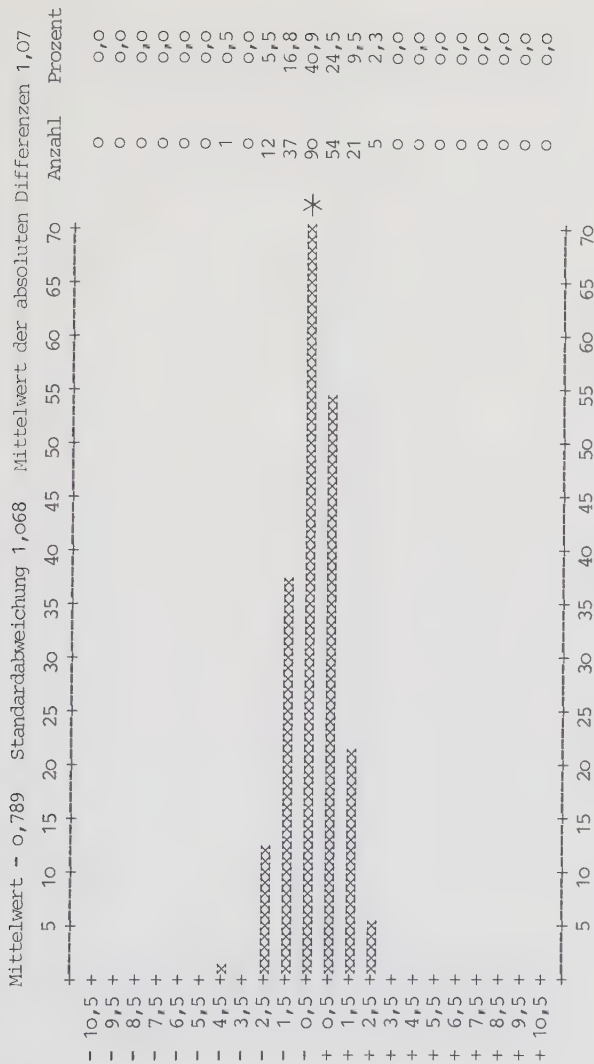


Abbildung III: Differenzen zwischen den ermittelten Überschüssen der zweiten und dritten Mehreihe jeweils einschließlich der ersten Molaren.

Abbildung IV

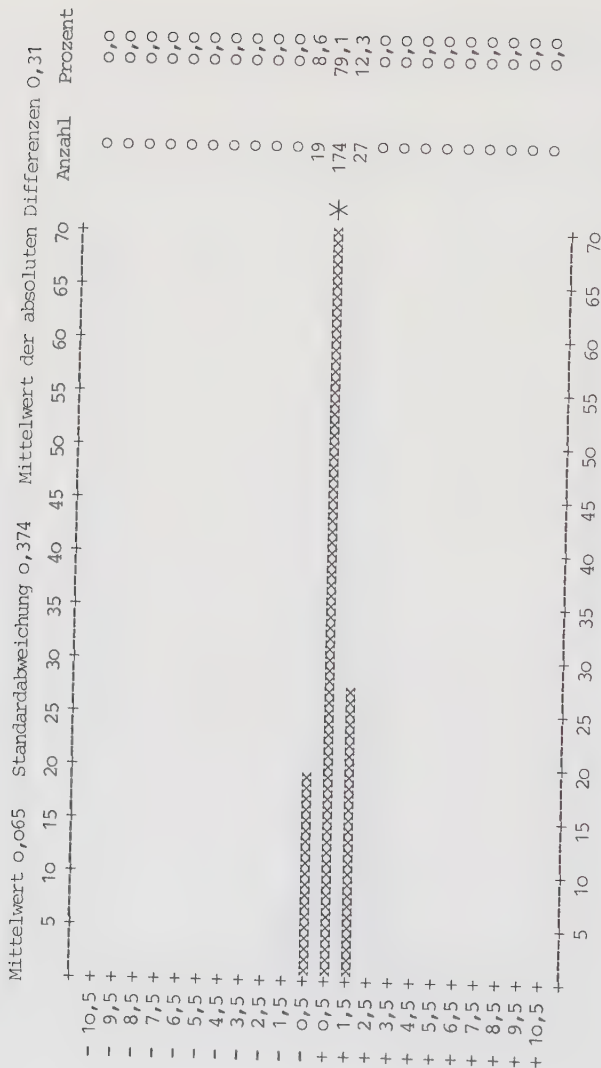


Abbildung IV: Differenzen zwischen den ermittelten Überschlüssen der ersten und zweiten Meßreihe jeweils einschließlich der Eckzähne.

Abbildung V

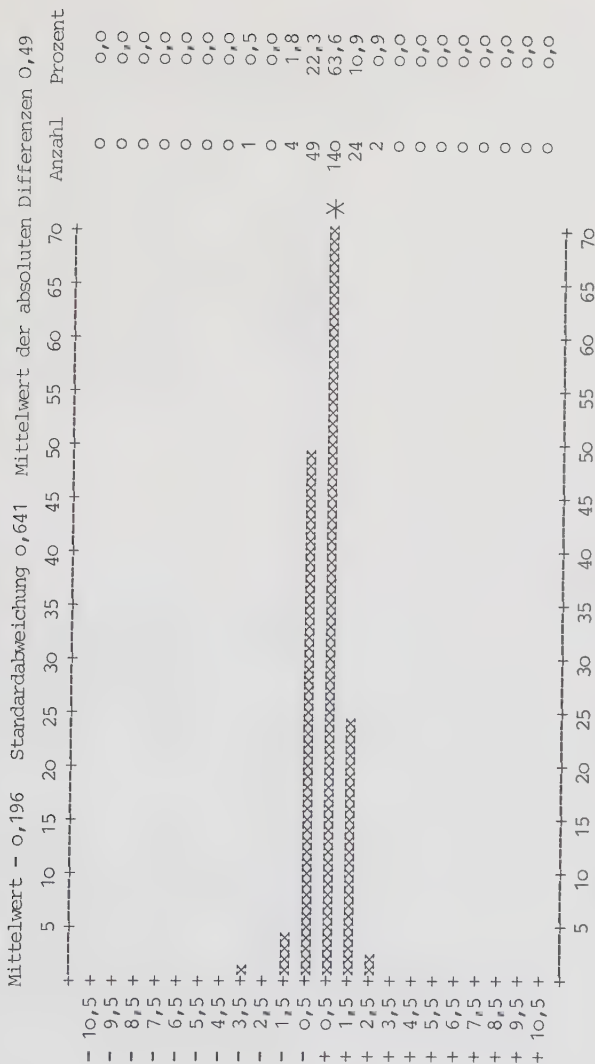


Abbildung V: Differenzen zwischen den ermittelten Überschüssen der ersten und dritten Meßreihe jeweils einschließlich der Eckzähne.

Mittelwert - 0,261	Standardabweichung 0,601	Mittelwert der absoluten Differenzen 0,51
5	+	0
10	+	0
15	+	0
20	+	0
25	+	0
30	+	0
35	+	0
40	+	0
45	+	0
50	+	0
55	+	0
60	+	0
65	+	0
70	+	0
75	+	0
80	+	0
85	+	0
90	+	0
95	+	0
100	+	0
105	+	0
110	+	0
115	+	0
120	+	0
125	+	0
130	+	0
135	+	0
140	+	0
145	+	0
150	+	0
155	+	0
160	+	0
165	+	0
170	+	0
175	+	0
180	+	0
185	+	0
190	+	0
195	+	0
200	+	0
205	+	0
210	+	0
215	+	0
220	+	0
225	+	0
230	+	0
235	+	0
240	+	0
245	+	0
250	+	0
255	+	0
260	+	0
265	+	0
270	+	0
275	+	0
280	+	0
285	+	0
290	+	0
295	+	0
300	+	0
305	+	0
310	+	0
315	+	0
320	+	0
325	+	0
330	+	0
335	+	0
340	+	0
345	+	0
350	+	0
355	+	0
360	+	0
365	+	0
370	+	0
375	+	0
380	+	0
385	+	0
390	+	0
395	+	0
400	+	0
405	+	0
410	+	0
415	+	0
420	+	0
425	+	0
430	+	0
435	+	0
440	+	0
445	+	0
450	+	0
455	+	0
460	+	0
465	+	0
470	+	0
475	+	0
480	+	0
485	+	0
490	+	0
495	+	0
500	+	0
505	+	0
510	+	0
515	+	0
520	+	0
525	+	0
530	+	0
535	+	0
540	+	0
545	+	0
550	+	0
555	+	0
560	+	0
565	+	0
570	+	0
575	+	0
580	+	0
585	+	0
590	+	0
595	+	0
600	+	0
605	+	0
610	+	0
615	+	0
620	+	0
625	+	0
630	+	0
635	+	0
640	+	0
645	+	0
650	+	0
655	+	0
660	+	0
665	+	0
670	+	0
675	+	0
680	+	0
685	+	0
690	+	0
695	+	0
700	+	0
705	+	0
710	+	0
715	+	0
720	+	0
725	+	0
730	+	0
735	+	0
740	+	0
745	+	0
750	+	0
755	+	0
760	+	0
765	+	0
770	+	0
775	+	0
780	+	0
785	+	0
790	+	0
795	+	0
800	+	0
805	+	0
810	+	0
815	+	0
820	+	0
825	+	0
830	+	0
835	+	0
840	+	0
845		

Abbildung VI: Differenzen zwischen den ermittelten Überschüssen der zweiten und dritten Maßreihe jeweils einschließlich der Eckzähne.

An dieser Stelle sollen noch einige spezielle Ergebnisse der korrelationsstatistischen Analyse angefügt werden, die interessante Angaben über gewisse Teilaspekte der Analyse machen.

Tabelle XVII

	OK-Front/ OK-Gesamt	UK-Front/ UK-Gesamt	OK-Front/ UK-Front
1. Meßreihe	+ 0,9399	+ 0,9072	+ 0,8574
2. Meßreihe	+ 0,9430	+ 0,9126	+ 0,8601
3. Meßreihe	+ 0,9440	+ 0,9055	+ 0,8611

	OK-Gesamt/ UK-Gesamt	Frontaler Quotient/ Gesamtquotient
1. Meßreihe	+ 0,8982	+ 0,7402
2. Meßreihe	+ 0,8996	+ 0,7506
3. Meßreihe	+ 0,8932	+ 0,7598

Tabelle XVII: Korrelationskoeffizienten von Summen und Quotienten innerhalb der drei Meßreihen.

Diskussion

Bei der Betrachtung der Mittelwerte fällt auf, daß sie für die erste und zweite Messung der Frontzahnbreitensumme und der Gesamtsumme im Ober- wie im Unterkiefer fast identisch sind. Bei den entsprechenden Größen für die dritte Messung, die von einer anderen Person durchgeführt wurde, läßt sich dagegen erkennen, daß speziell im Unterkiefer im Durchschnitt größere Maßangaben gemacht wurden als bei den vorangegangenen Meßreihen. Dies ist als systematischer Fehler einer der beiden an der Messung beteiligten Personen auszulegen. Auf dessen Auswirkungen soll später noch eingegangen werden.

Die Mittelwerte der errechneten Gesamtquotienten liegen für die erste und zweite Messung nahe dem von BOLTON angegebenen Idealquotienten von 91,3, nämlich innerhalb der angegebenen Standardabweichung des Mittelwertes von $\pm 0,26$ um den Mittelwert.

Dem entsprechen die nur unwesentlich unter Null liegenden Überschüsse, was einem im Durchschnitt geringfügig zu kleinem Zahnmaterial im Unterkiefer gleichkommt. Die Werte der dritten Meßreihe zeigen hier eine deutliche Verschiebung in Richtung zu großer Unterkieferzahnbreiten von ca. einem halben Millimeter. Diese Tatsache schlägt sich auch im größeren Gesamtquotienten nieder.

Dagegen liegen alle errechneten Mittelwerte der drei Meßreihen für den frontalen Quotienten über dem von BOLTON angegebenen Idealquotienten von 77,2 (bei einer Standardabweichung des Mittelwertes von $\pm 0,22$). Auffällig ist aber, daß auch die von BOLTON zitierten NEFF (1949) und STIFTER (1958) zu Werten für den idealen frontalen Quotienten kamen, die über dem von BOLTON angegebenen liegen: So erhält man bei NEFF nach Umrechnung für den frontalen Quotienten ein Intervall von 82 - 83,3; STIFTER gibt 77,55 als Idealwert an.

Es muß ausdrücklich festgehalten werden, daß hier nicht der Versuch unternommen werden soll, die anhand dieser Studie an unselektierten Patientenmodellen gewonnen Mittelwerte als Idealwerte hinzustellen. Sie sollen auch nicht mit den anhand von sogenannten "Idealgebissen" gewonnenen Mittelwerten direkt verglichen werden. Es läßt sich aber

damit nachweisen, daß die von den verschiedenen Autoren angegebenen Idealwerte dem Durchschnitt an unselektiertem Patientengut sehr nahe kommen.

Die Mittelwerte für die frontalen Überschüsse bringen keine großen Überraschungen; hier zeigt sich lediglich der Trend zu geringfügig überdimensioniertem Unterkieferzahnmaterial, der in der dritten Meßreihe wiederum etwas ausgeprägter erscheint.

Vergleicht man die Standardabweichungen der Gesamtquotienten mit dem von BOLTON mit 1,91 angegebenen, so läßt sich festhalten, daß die hier an unselektiertem Patientengut gefundenen Werte nur unwesentlich höher ausfallen. Das bedeutet, daß die Streuung kaum größer ist als bei den sogenannten "Idealgebissen".

Einen zusätzlichen Aspekt bringt die Betrachtung der Standardabweichungen für die Front: Die hier gefundenen Werte für die Quotienten liegen erheblich über dem von BOLTON mit 1,65 angegebenen. Dies läßt die Vermutung aufkommen, daß die Hauptursache der Abweichungen von den Idealquotienten in der Front zu suchen ist. Zur Klärung dieses Sachverhaltes wurden die Variationskoeffizienten der Summen aus Ober- und Unterkieferzahnbreiten, der Quotienten und der Überschüsse gebildet. Sie erlauben einen direkten Vergleich der Streuungen innerhalb der Front und des Gesamtbereichs einschließlich der ersten Molaren.

Die Variationskoeffizienten der Front wie auch des Gesamtbereichs zeigen beim Vergleich der Werte für den Ober- und Unterkiefer eine leichte Tendenz zu geringeren Unterkieferwerten. Das bedeutet, daß im Oberkiefer das Maß an Streuung größer ist als bei den entsprechenden Unterkieferzähnen. Der Vergleich der Variationskoeffizienten der Front mit denen des Gesamtbereichs bringt uns im Ober- wie im Unterkiefer und auch beim jeweiligen Quotienten die Erkenntnis, daß aufgrund der durchgehend größeren Werte für die Front das Ausmaß der Streuung hier wesentlich größer ist als im

Seitenzahngebiet. Man muß bei diesen Werten nämlich noch berücksichtigen, daß beim Variationskoeffizienten des Gesamtbereichs bereits die Streuung der Front mit enthalten ist. Aus diesen Erkenntnissen sollte man jedoch nicht den Schluß ziehen, die Analyse nach BOLTON allein auf die frontalen Zahnbereiche zu beschränken, denn in einigen Fällen ist die Zahngrößendiskrepanz mit großer Wahrscheinlichkeit im Seitenzahngebiet lokalisiert und man erhält dann trotz therapeutischer Bemühungen keine befriedigende Verzahnung in den betreffenden Gebieten. Die Variationskoeffizienten für die Überschüsse sollen hier außer Acht gelassen werden. Da der Durchschnitt der Überschüsse nahe Null liegt, waren sehr unterschiedliche und relativ hohe Werte für die Variationskoeffizienten zu erwarten.

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten für die Korrelationen zwischen den 3 Messungen von summierten Ober- und Unterkieferzahnbreiten läßt den Schluß zu, daß im Oberkiefer etwas genauer gemessen werden kann. Allgemein liegen die Korrelationskoeffizienten für die Summen nahe dem Idealwert von + 1,0. Speziell für die Eigenkontrolle (Reliabilität), also den Vergleich zwischen erster und zweiter Messung, wurde ein Wert von mehr als + 0,99 sowohl für die Oberkiefer- als auch für die Unterkieferwerte gefunden. Betrachtet man die für die Objektivität der Methode maßgeblichen Werte, also die Korrelationskoeffizienten zwischen erster oder zweiter Meßreihe und der dritten (= Fremdmessung), so lassen etwas niedrigere Werte die Auswirkungen erkennen, die aufgrund der unterschiedlichen Festlegung der jeweiligen Referenzpunkte durch verschiedene Personen für den Grad der Genauigkeit der Analyse auftreten. Die Korrelationskoeffizienten der Front unterscheiden sich dabei nur ganz unwesentlich von den entsprechenden des Gesamtbereichs einschließlich der ersten Molaren. Somit kann gesagt werden, daß die Messung von vierundzwanzig Zähnen für die Gesamtanalyse nach der beschriebenen Methode gegenüber der Messung von zwölf Frontzähnen keine Verschlechterung bezüglich der Korrelationskoeffizienten mit sich bringt.

Bei der Bildung der Quotienten gehen sowohl die zwölf Oberkiefer- als auch die zwölf Unterkieferwerte in die Rechnung ein. Das Phänomen der Fehlerfortpflanzung bzw. -vergrößerung tritt hier an den deutlich abnehmenden Korrelationskoeffizienten zutage. Die Korrelationskoeffizienten der Überschüsse sind mit denen der Quotienten nahezu identisch; hier tritt keine Verschlechterung der Ergebnisse mehr ein.

Es muß aber festgehalten werden, daß alle errechneten Korrelationskoeffizienten über dem von LIENERT (1969) als Minimalwert für den interindividuellen Vergleich geforderten Wert von $+ 0,8$ liegen und somit für die Güte der Analyse sprechen.

Auf das eingangs erwähnte Problem von systematischen Fehlern soll hier noch einmal Bezug genommen werden: Der Korrelationskoeffizient nämlich läßt systematische Fehler völlig außer Betracht und könnte damit eine "Scheinreliabilität" vortäuschen.

Deshalb ist es von Interesse, sich die Lage der Regressionsgeraden anzusehen. Sie müßten, da es sich um identische Werte handeln sollte, einen Achsenabschnitt von $+ 0,0$ und eine Steigung von $+ 1,0$ aufweisen. Bei der ersten und zweiten Messung ist dies für die Summen von Ober- und Unterkieferzahnbreiten in nahezu idealer Weise erreicht. Der Tangens der Steigungswinkel liegt für Quotient und Überschuß jedoch nur bei $+ 0,94$ bzw. $+ 0,93$ für die Front verbunden mit geringem Achsenabschnitt. Deutlicher wird die Abweichung beim Vergleich der Fremdmessung mit den eigenen Messungen; es ergibt sich nämlich nur mehr ein Steigungswinkel von $+ 0,90$ bzw. $+ 0,89$ und $+ 0,86$ für die Front. Dieser und die großen Achsenabschnitte bei den Summen und Quotienten haben ihre Ursache in dem eingangs erwähnten systematischen Fehler in der Ausmessung der Zahnbreiten.

Somit muß festgehalten werden, daß die hohen Korrelationskoeffizienten nicht allein zur Aussage über die Güte der Analyse herangezogen werden dürfen, sondern ergänzt werden müssen durch die Regressionsgeraden.

Abbildung I zeigt graphisch die Differenzen zwischen der ersten und der zweiten Messung des Gesamtbereichs, aufgeschlüsselt nach Intervallen. Bei einer erstaunlich großen Zahl, nämlich 130 von 220 vermessenen Modellen, lag diese Differenz größenmäßig unter $\pm 0,5$ mm. In Prozentzahlen ausgedrückt sind dies 59,1 %. Im Bereich von $\pm 1,5$ mm liegen 216 der 220 Fälle, also 98,2 %. Nur vier der verglichenen Modelle wiesen bei der Wiederholungsmessung eine größere Abweichung auf, blieben aber noch im Bereich von $\pm 2,5$ mm.

Die Werte der Abbildungen II und III sind natürlich etwas weiter gestreut, da es sich hier um den Vergleich der beiden Eigenmessungen mit der Fremdmessung handelt. Hier liegen nur 39,5 % (1. M./3. M.) bzw. 40,9 % (2. M./3. M.) innerhalb einer Abweichung von $\pm 0,5$ mm. Im Intervall von $\pm 1,5$ mm kommen 82,3 % (1. M./3. M.) bzw. 82,2 % (2. M./3. M.), im Bereich von $- 2,5$ mm bis $+ 2,5$ mm 96,8 % (1. M./3. M.) bzw. 97,2 % (2. M./3. M.) zu liegen. Größere Abweichungen bis ca. 5 mm kamen nur sehr vereinzelt vor.

Der Mittelwert der absoluten Differenzen liegt beim Vergleich der beiden Eigenmessungen bei 0,48 mm; entsprechende Werte für die Differenzen zwischen der ersten und dritten Meßreihe sind 1,05 mm und zwischen der zweiten und dritten 1,07 mm.

Die entsprechenden Abbildungen IV - VI für die Front gestalten sich natürlich wegen der geringeren Anzahl an Einzelmessungen und der damit verbundenen Fehlermöglichkeiten etwas günstiger. So liegt hier der Mittelwert der absoluten Differenzen beim Vergleich der beiden Eigenmessungen bei 0,31 mm, der der ersten Messungen und der Fremdmessung bei 0,49 mm und der der zweiten Messung und der Fremdmessung bei 0,51 mm.

174 der 220 vermessenen Modelle, also 79,1 %, wurden mit Fehlern von weniger als 0,5 mm zweimal von der gleichen Person vermessen; alle Fälle lagen innerhalb eines Fehlerbereichs von $\pm 1,5$ mm. Immerhin 140 der 220 Fälle - das entspricht 63,6 % - liegen beim Vergleich der ersten Messung mit der Fremdmessung innerhalb eines Bereichs von $\pm 0,5$ mm. Die entsprechenden Werte für die zweite und dritte Messung liefern 119 der 220 Fälle, also 54,1 %. Innerhalb eines Be-

reichs von $\pm 1,5$ mm kommen 97,3 % (1. M./3. M.) bzw. 96,8 % (2. M./3. M.) zu liegen. Einzelne Streuwerte bis zu einer Abweichung von ca. 4 mm wurden beobachtet.

Es bleibt festzuhalten, daß trotz relativ hoher Korrelationskoeffizienten, die für die Reliabilität und Objektivität der Analyse sprechen, doch beim direkten Vergleich der Einzelwerte der drei Maßzahlreihen nennenswerte Fehler nachweisbar sind.

Somit müssen die Korrelationskoeffizienten mit Vorsicht interpretiert und gegebenenfalls eher die hier angeführten Fehlergrenzen zur Grundlage der Beurteilung von Reliabilität und Objektivität der Methode gemacht werden.

Einige spezielle Ergebnisse der korrelationsstatistischen Analyse erlauben noch interessante Einblicke in Teilaspekte der Analyse. So ist zum Beispiel der Zusammenhang zwischen der Summe der Oberkieferfrontzahnbreiten und der des Gesamtbereichs des Oberkiefers mit einem Koeffizienten von $+0,94$ als stark ausgeprägt zu bezeichnen. Er ist größer als der entsprechende des Unterkiefers ($r = +0,91$). Dies bedeutet, daß große Frontzähne im Oberkiefer noch wahrscheinlicher mit großen Seitenzähnen des Oberkiefers einhergehen als große Unterkieferfrontzähne mit großen Zähnen des seitlichen Unterkieferbereichs. Der Zusammenhang zwischen den addierten Summen der beiden Kiefer ist über den Gesamtbereich bis einschließlich der ersten Molaren mit $r = +0,9$ recht groß. Er ist in der Front nur wenig geringer ($r = +0,86$). Diese Werte stimmen mit den von HERREN (1974) gefundenen $+0,86 - 0,89$ für die summierten Kronenbreiten einschließlich der zweiten Prämolaren sehr gut überein. Sie zeigen, daß - bezüglich der Zahnbreiten - ein großer Oberkiefer meistens mit einem großen Unterkiefer erblich verbunden ist; genauso wie bei kleinem Oberkiefer auch ein kleiner Unterkiefer zu erwarten ist.

Ebenso muß man aber festhalten, daß für die wenigen Fälle, bei denen dies nicht zutrifft, eine Analyse der Zahngrößenrelationen von oberen und unteren Zähnen die einzige Möglichkeit ist, daraus resultierende Probleme zu erkennen und eine darauf bezogene Therapie einzuleiten.

Bei dem Korrelationskoeffizienten zwischen dem frontalen Quotienten und dem Gesamtquotienten ergab sich ein durchschnittlicher Wert von $+ 0,75$, der damit weit über dem von BOLTON mit $+ 0,5$ angegebenen Wert für ideale Gebisse liegt. Trotzdem ist bei "Normalgebissen" ein gesicherter Zusammenhang zwischen den frontalen und den seitlichen Quotienten nicht gegeben und damit ein Verzicht auf die Gesamtanalyse nicht ratsam.

Können die festgestellten Untersuchungsergebnisse Gültigkeit für sich beanspruchen?

Die Anzahl der vermessenen Untersuchungsmodelle - es handelte sich um 220 Oberkiefer- und die dazugehörigen 220 Unterkiefermodelle, die nicht weiter nach Fallgruppen unterteilt wurden - ist für eine Statistik dieser Art ausreichend groß. Als Mindestanzahl werden z. B. verschiedentlich 50 Modellpaare angegeben; da diese Anzahl bei weitem überschritten wird, läßt sich auch der Anspruch auf Verallgemeinerungsfähigkeit der Untersuchungsergebnisse erheben. Zudem wurden vorgegebenen Meßbedingungen, die in Kapitel 4.3 ausführlich beschrieben sind, bei allen Meßreihen genauestens eingehalten und ungeeignete Modellpaare gleich vor der ersten Meßerhebung aussortiert.

Sämtliche Werte wurden dem gleichen statistischen Auswertungsverfahren unterzogen; dabei filterte man Fehler aus, die als grobe Abweichungen auffielen. Diese relativ selten vorkommenden groben Fehler wurden durch nochmaliges Messen des betreffenden Modells von der jeweiligen Person unter gleichen Meßbedingungen richtiggestellt.

ZUSAMMENFASSUNG

Zu Anfang dieser Arbeit wird die Methode "BOLTON" vorgestellt, ihre Entwicklung, das praktische Vorgehen sowie ihre Indikation und daraus resultierende Therapievorschläge. Dazu werden einige kritische Anmerkungen gemacht.

Die Fehlermöglichkeiten, die in der Analyse stecken, werden sodann hinsichtlich ihrer Arten und Ursachen aufgeführt.

Zu den Auswirkungen der Fehler auf die Güte der Analyse werden eigene Untersuchungen anhand eines praxisnahen Verfahrens gemacht, die u. a. folgende Ergebnisse bringen:

1. Die von uns gefundenen Mittelwerte bei den aus summierten Ober- und Unterkieferzahnbreiten gebildeten Quotienten liegen sehr nahe an den von BOLTON und anderen Autoren angegebenen Sollwerten; die Streuung (bei diesen unselektierten Patientenmodellen) ist nur unwesentlich groer als die bei den "Idealgebissen".
2. Die Streuung der addierten Summen ist in den frontalen Gebibereichen groer als in den Seitenzahngelassen und im Oberkiefer ausgepragter als im Unterkiefer.
Damit sind die Hauptursachen für Abweichungen von idealen Zahngroenrelationen meist in der oberen Front zu finden.
3. Die Messung des Gesamtbereichs - also von 24 Zähnen - bringt hinsichtlich der Retest-Korrelationskoeffizienten keine Verschlechterung gegenüber dem alleinigen Messen der Front.
4. Die Retest-Korrelationskoeffizienten zeigen bezüglich der Werte die Brauchbarkeit für den individuellen Vergleich ($r_{tt} \gg + 0,8$). Sie dürfen jedoch ohne Kenntnis der Regressionsgeraden nicht zur alleinigen Definition der Reliabilität und Objektivität der Analyse herangezogen werden.
5. Der Mittelwert der absoluten Differenzen zwischen den einzelnen Überschüssen beider Eigenmessungen liegt für die Front bei ca.

0,3 mm und für den Gesamtbereich knapp unter 0,5 mm.

Einzelne Abweichungen bis $\pm 2,5$ mm beim Gesamtbereich bzw. bis $\pm 1,5$ mm bei der Front wurden beobachtet, jedoch lagen auch beim Gesamtbereich über 98 % der Fälle im Bereich $\pm 1,5$ mm.

6. Der Mittelwert der absoluten Differenzen zwischen den Überschüssen aus Eigen- und Fremdmessung liegt für die Front bei 0,5 mm und für den Gesamtbereich bei ca. 1 mm.

Ungefähr 97 % aller Fälle zeigen in der Front eine geringere Abweichung als $\pm 1,5$ mm; der gleiche prozentuale Anteil der Wertepaare differiert beim Gesamtbereich weniger als $\pm 2,5$ mm.

7. Der Korrelationskoeffizient zwischen dem frontalen Quotienten und dem Gesamtquotienten liegt bei $r = + 0,75$.

Daher sollte man auf eine nach Front- und Gesamtbereich getrennte Analyse nicht verzichten.

8. Der Zusammenhang zwischen summierten Oberkiefer- und Unterkieferzahnbreiten ist mit $r = + 0,9$ für den Gesamtbereich einschließlich der ersten Molaren bzw. $r = + 0,86$ für die Front einschließlich der Eckzähne recht groß.

Trotz dieses hohen Zusammenhanges ist die Methode nach BOLTON für die Befunderhebung nötig, vor allem, wenn aufgrund einer unstimmgigen Okklusion der Verdacht auf Zahngrößendiskrepanzen besteht oder im Zuge der Behandlung Extraktionen nötig werden.

1. BALLARD, M. L.: Asymmetry in Tooth Size: A Factor in the Etiology, Diagnosis and Treatment of Malocclusion.
Angle Orthodont. 14, 67-71
(1944)
2. BALLARD, M. L. and WHYLIE, W. L.: Mixed Dentition Case Analysis - Estimating Size of Unerupted Permanent Teeth.
Amer. J. Orthodont. 33, 754-760 (1947)
3. BOLTON, W. A.: Thesis for Masters Degree.
University of Washington
(1952)
4. BOLTON, W. A.: Disharmony in Tooth Size and its Relation to the Analysis and Treatment of Malocclusion.
Angle Orthodont. 28, 113-130
(1958)
5. BOLTON, W. A.: The Clinical Application of a Tooth-Size Analysis.
Amer. J. Orthodont. 48, 504
(1962)

6. EICHNER, K.: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Hüthig, Heidelberg, 1974
7. HARDTWIG, E.: Fehler- und Ausgleichsrechnung., 2. Aufl.
Hochschultaschenbücher, Mannheim,
1968
8. HASELOFF, G. und
HOFFMANN, K.: Kleines Lehrbuch der Statistik.
3. Auflage, De Gruyter,
Berlin-Heidelberg-Nex York,
1969
9. HERREN, P.: Die summierten mesiodistalen
Kronenbreiten des anterioren
Zahnbogens und ihre Differenz
zwischen Ober- und Unterkiefer.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk., 8,
853-872 (1974)
10. ILG, V. K.: Vergleichende Untersuchungen zur
Feststellung der Abdruckgenauig-
keit von Alginatabdrücken.
Dtsch. zahnärztl. Z. 5, 415
(1950)
11. LIENERT, G. A.: Testaufbau und Testanalyse.
3. Aufl., Julius Beltz,
Weinheim-Berlin, 1969

12. LUNDSTROM, A.: Intermaxillary Tooth Width Ratio and Tooth Alignment and Occlusion.
Acta odont. scand. 12, 265-292 (1954)
13. MITTENECKER, E.: Planung und Auswertung von Experimenten.
8. Aufl., Franz Deuticke, Wien, 1970
14. NEFF, C. W.: Tailored Occlusion with the Anterior Coefficient.
Amer. J. Orthodont. 35, 309-314 (1949)
15. REHBERG H. J.: Das Alginat-Abformmaterial - Verarbeitung und klinische Einsatzmöglichkeiten.
Zahnärztl. Mitt. 8, 470-475 (1980)
16. SACHS, L.: Statistische Auswertungsmethoden.
2. Aufl., Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1969
17. SCHMUTH, G. P. F.: Kieferorthopädie - Grundzüge und Probleme.
Thieme, Stuttgart, 1973

18. SCHWINDLING, R.: Über die Formveränderung der unmittelbar nach der Abdrucknahme mit Gips ausgegossenen Alginatabformmassen und ihre Ursachen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 6, 1199 (1951)
19. SERGL, H. G. Neue Zahnbogenmaße und ihr diagnostischer Wert.
Dtsch. Zahnärztebl. 23, 412-416 (1969)
20. SORG, M.: Untersuchungen zur Meßgenauigkeit bei den kieferorthopädisch-diagnostischen Meßverfahren nach PONT und KORKHAUS.
Med. Diss., Mainz 1977
21. SQUIRES, G. L.: Meßergebnisse und ihre Auswertung.
1. Aufl., De Gruyter, Berlin-Heidelberg-New York, 1971
22. STEADMAN, S. R.: Predetermining the Overbite and Overjet.
Angle Orthodont. 19, 101-105 (1949)

23. STIFTER, J.: A Study of Pont's, Howes',
Rees', Neff's, and Bolton's
Analyses on Class I Adult
Dentitions.
Angle Orthodont. 28, 215
(1958)
24. WEICKART, P. Werkstoffkunde für Zahnärzte.
4. Aufl., Carl-Hanser,
München, 1966
25. WEISE, W. und Die Bedeutung der Breitensummen
PFOHL, K.: von Eckzähnen, Prämolaren und
Sechsjahrmolaren (SCPML) auf die
Variationsbreite der Zahnbogen-
form innerhalb gleicher SI im
regelrechten Gebiß.
Zahnärztl. Rdsch. 76, 84,
(1967)
26. WESTPHAL, W. H.: Physikalisches Praktikum.
12. Aufl., Friedrich Vieweg,
Braunschweig, 1966
27. WHEELER, R. C.: Textbook of Dental Anatomy and
Physiology.
ed. 4, W. B. Saunders Company,
Philadelphia, 1940

7 Formeln und Tabellen

Formel I

$$\frac{\sum \text{UK} \quad \overline{6-1} \mid \overline{1-6} \quad \text{mm}}{\sum \text{OK} \quad \overline{6-1} \mid \overline{1-6} \quad \text{mm}} \times 100 = \dots\%$$

Formel II (für $x > 91,3$)

$$\frac{\sum \text{UK} \quad \overline{6-1} \mid \overline{1-6} \quad \text{mm}}{\sum \text{OK} \quad \overline{6-1} \mid \overline{1-6} \quad \text{mm}} - \text{UK}_{\text{kor.}} = \text{UK-Überschuß}$$

Formel III (für $x < 91,3$)

$$\frac{\sum \text{OK} \quad \overline{6-1} \mid \overline{1-6} \quad \text{mm}}{\sum \text{UK} \quad \overline{6-1} \mid \overline{1-6} \quad \text{mm}} - \text{OK}_{\text{kor.}} = \text{OK-Überschuß}$$

Formel IV

$$\frac{\sum \text{UK} \quad \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \quad \text{mm}}{\sum \text{OK} \quad \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \quad \text{mm}} \times 100 = \dots\%$$

Formel V (für $x > 77,2$)

$$\frac{\sum \text{UK} \quad \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \quad \text{mm}}{\sum \text{OK} \quad \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \quad \text{mm}} - \text{UK}_{\text{kor.}} = \text{UK-Überschuß}$$

Formel VI (für $x < 77,2$)

$$\frac{\sum \text{OK} \quad \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \quad \text{mm}}{\sum \text{UK} \quad \overline{3-1} \mid \overline{1-3} \quad \text{mm}} - \text{OK}_{\text{kor.}} = \text{OK-Überschuß}$$

Formel VII

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Formel VIII

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Formel IX

$$V = \frac{100 \cdot s_x}{\bar{x}}$$

Formel X

$$r_{tt} = \frac{s_{\infty}^2}{s_x^2}$$

Formel XI

$$s_x^2 = s_{\infty}^2 + s_e^2$$

Formel XII

$$r_{tt} = \frac{\sum [(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Formel XIII

$$b_{yx} = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}$$

$$a_{yx} = \frac{\sum Y - b_{yx} \sum X}{N} = \bar{Y} - b_{yx} \cdot \bar{X}$$

Formel XIV

$$Y = a_{yx} + b_{yx} \cdot X$$

Formel XV

$$X = a_{xy} + b_{xy} \cdot Y$$

Formel XVI

$$D_1 = x_{i1} - x_{i2}$$

Formel XVII

$$D_2 = x_{i2} - x_{i3}$$

Formel XVIII

$$D_3 = x_{11} - x_{13}$$

Tabelle I: Einander entsprechende summierte Zahngrößen
von Ober- und Unterkiefer
einschließlich der ersten Molaren,
die eine harmonische Okklusion erwarten lassen.

OK	UK	OK	UK	OK	UK
85	77,6	94	85,8	103	94,0
86	78,5	95	86,7	104	95,0
87	79,4	96	87,6	105	95,9
88	80,3	97	88,6	106	96,8
89	81,3	98	89,5	107	97,7
90	82,2	99	90,4	108	98,6
91	83,1	100	91,3	109	99,5
92	84,0	101	92,2	110	100,4
93	84,9	102	93,1		

Tabelle II: Einander entsprechende summierte Zahngrößen
von Ober- und Unterkiefer
einschließlich der Eckzähne,
die eine harmonische Okklusion erwarten lassen.

OK	UK	OK	UK	OK	UK
40,0	30,9	45,5	35,1	50,5	39,0
40,5	31,3	46,0	35,5	51,0	39,4
41,0	31,7	46,5	35,9	51,5	39,8
41,5	32,0	47,0	36,3	52,0	40,1
42,0	32,4	47,5	36,7	52,5	40,5
42,5	32,8	48,0	37,1	53,0	40,9
43,0	33,2	48,5	37,4	53,5	41,3
43,5	33,6	49,0	37,8	54,0	41,7
44,0	34,0	49,5	38,2	54,5	42,1
44,5	34,4	50,0	38,6	55,0	42,5
45,0	34,7				

Herrn Professor Dr. H.G. S E R G L
möchte ich an dieser Stelle für die
Überlassung des Themas, für Literatur-
angaben und für Hinweise zur Durch-
führung dieser Arbeit danken.

Herrn Dipl. Psychologen S. W E L L E K
gilt mein Dank für die Betreuung in
statistischen Fragen.

LEBENS LAUF

Am 7. Mai 1953 wurde ich als Sohn des Prokuristen Alfred Ernst und seiner Ehefrau Franziska, geb. Wittmann, in Neumarkt i. d. Opf. geboren. Meine jüngere Schwester ist als Lehrerin tätig.

Nach der Einschulung 1959 wechselte ich 1964 in das Willibald-Gluck-Gymnasium Neumarkt über. Am 8. Juni 1973 beendete ich dort erfolgreich meine Schulzeit mit dem Abitur.

Nach teilweiser Ableistung meiner Wehrpflicht erhielt ich im April 1974 einen Studienplatz für das Fach Zahnmedizin an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz. Die naturwissenschaftliche Vorprüfung legte ich im März 1975, die zahnärztliche Vorprüfung im Oktober 1976 in Mainz ab. Am 27. Juni 1979 beendete ich vor dem Prüfungsausschuß in Mainz die Zahnärztliche Prüfung erfolgreich. Meine Bestallung als Zahnarzt wurde mir am 10. Juli 1979 erteilt.

Seit dem 17. September 1979 bin ich bei Herrn Dr. Christmeier, Zahnarzt in Nürnberg, als Ausbildungsassistent tätig.

Wolfgang . . . +

